

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**PINTATAISTELUALUSTEN KEHITTÄMISEN HAASTEET  
2000-LUVUN ALUSSA – YHDYSVALTOJEN LAIVASTON LITTORAL  
COMBAT SHIP - JA HÄVITTÄJÄHANKKEIDEN LAIVATEKNIikka**

Diplomityö

Insinöörikommentajakapteeni  
Jarmo Harras

Yleisesikuntaupseerikurssi 55  
Merisotalinja

Kesäkuu 2011

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Yleisesikuntaupseerikurssi 55	Linja Merisotalinja
Tekijä Insinöörikomentajakapteeni Jarmo Harras	
Tutkielman nimi <b>PINTATAISTELUALUSTEN KEHITTÄMISEN HAASTEET</b> <b>2000-LUVUN ALUSSA – YHDYSVALTOJEN LAIVASTON LITTORAL</b> <b>COMBAT SHIP - JA HÄVITTÄJÄHANKKEIDEN LAIVATEKNIikka</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto ( MPKK:n kirjasto )
Aika Kesäkuu 2011	Tekstisivuja 117 Liitesivuja 5
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Tässä diplomityössä tutkittiin Yhdysvaltojen laivaston DDG-1000-hävittäjä- ja Littoral Combat Ship (LCS) -hankkeissa kehitettävien pintataistelualusten laivateknisten ratkaisujen vaikutusta alusten ominaisuuksiin. Tutkimuksen painopiste oli laivatekniikassa, mutta tarkastelu kiinnitettiin käynnissä oleviin hankkeisiin.</p> <p>Aineiston keräämisen menetelmänä käytettiin kirjallisuustutkimusta. Aineisto analysoitiin aineistolähtöisesti, ja laivatekniikan analysoinnin mallina käytettiin laivan konseptisuunnittelun keskeisiä osa-alueita. Laivatekniikkaa analysoitiin vertailemalla aiempien ja uusien alusten teknisiä ratkaisuja. Tutkimusraportti laadittiin soveltamalla prosessikirjoittamista.</p> <p>DDG-1000- ja LCS-hankkeiden vaatimukset perustuivat varsin tarkasti määriteltyihin tehtäviin osana rannikkomerioperointia. Uusilla hankintatavoilla ei kyetty hallitsemaan hankkeiden kustannuksia. DDG-1000-hankkeen kustannusten kasvu vaikutti johtuvan toimittajien välisen kilpailun puuttumisen lisäksi lukuisista uusista teknisistä järjestelmistä ja LCS-hankkeessa nopean hankintatavan aiheuttamista tekijöistä. DDG-1000-hankkeessa päädyttiin vain kolmen aluksen hankintaan ja vanhemman DDG-51-hävittäjän tuotannon uudelleen aloittamiseen. Toistaiseksi LCS-hankkeen 55 aluksen tavoitteessa ei ole tapahtunut muutoksia.</p> <p>LCS-1:n runkoratkaisu on puoliliukuva teräsrunko ja LCS-2:n alumiininen trimaraanirunko. Suuresta nopeudesta johtuen LCS:ien koneistotehot ovat samaa suuruusluokkaan kuin hävittäjillä, tosin LCS-2:n kulkuvastus on pienempi kuin LCS-1:n suurella nopeudella. Hitaammilla nopeuksilla LCS:ien runkojen ja vesisuihkupropulsion hyötysuhteet arvioitiin heikommiksi kuin uppoumarunkoisella fregatilla. LCS:issä on suuret modulaarisesta taistelujärjestelmästä ja alusten ulkopuolella operoitavista järjestelmistä johtuvat lasti- ja kansitilat. LCS-2:n runkoratkaisu on erittäin vakaa. Nopeat alukset ovat herkkiä painon muutoksille. Painavamman LCS-1:n kantavuus arvioitiin alhaiseksi. LCS-2:n painoa on hallittu kevyellä rakenteella. Sen osalta epävarmuutta on aiheuttanut poikittaisten aaltokuormien kantokyky. LCS:ien taistelunkestävyys on kyseenalaistettu.</p> <p>DDG-1000:n sisäänpäin kallistetuilla kyljillä varustettu runkoratkaisu perustui häivevaatimuksiin. Aluksen suureen kokoon on vaikuttanut keinunnanvaimennustankkien ja kokonaan sähköisen koneiston soveltaminen. Poikkeava runkomuoto ja suuri koko ovat mahdollistaneet uudenlaisen yleisjärjestelyn suunnittelun. Sähköisellä koneistolla on päästy pienempään kaasuturbiinien lukumäärään sekä joustavaan koneistojen käyttöprofiiliin. Runkomuodon vauriovakavuus, riski alavirtausperän paineiskuihin ja epävarmuus dynaamisesta vakavuudesta suuressa aallokossa ovat aiheuttaneet epäilyksiä aluksen merikelpoisuudesta. Suhteellisen alhaisen tehon perusteella aluksen kulkuvastusominaisuudet vaikuttivat hyviltä.</p> <p>Sekä LCS että DDG-1000 ovat tehtäviin optimoinnista johtuen eräänlaisia erikoisaluksia, jotka eivät sellaiseenaan sovi yleiskäyttöisten pintataistelualusten esikuviksi. Yleisesti ottaen tutkimuksen aikana syntyi näkemys, jonka mukaan taistelualuksen tehtävät tulisi määritellä riittävän väljästi, ja siten varmistaa, että alus on hyvä, mutta ei välttämättä paras, koko elinjaksonsa ajan.</p>	
<b>AVAINSANAT</b> Pintataistelualus, sotalaiva, laiva, laivatekniikka, hanke	

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>1</b>
1.1	Aihealueen esittely .....	1
1.2	Tutkimustilanne .....	2
1.3	Tutkimustehtävä .....	3
1.4	Käsitteet, näkökulmat ja rajaukset .....	3
1.5	Tarkennuksia lähteisiin ja raportointiin .....	6
<b>2</b>	<b>Tutkimusmenetelmät .....</b>	<b>9</b>
2.1	Yleistä menetelmistä .....	9
2.2	Taustaa laivatekniikan analysoinnille: laivasuunnittelun perusteita .....	9
2.3	Laivatekniikan analysointi .....	12
<b>3</b>	<b>Johdatus aiheeseen .....</b>	<b>15</b>
3.1	Alustyytit .....	15
3.2	Taustaa Yhdysvaltojen pintataistelualusten kehittämiseksi .....	17
3.2.1	Yhdysvaltojen merivoimien tehtävät ja kehittäminen .....	17
3.2.2	Yhdysvaltojen laivaston materiaalin kehittäminen ja sen organisointi .....	19
3.2.3	Hankintamalli .....	23
<b>4</b>	<b>DDG-1000- ja Littoral Combat Ship -hankkeet .....</b>	<b>25</b>
4.1	DD(X)- eli DDG-1000-hanke .....	25
4.1.1	Taustalla DD-21 .....	25
4.1.2	DDG-1000-hankkeen vaatimukset .....	27
4.1.3	DDG-1000-hankkeen toteutuminen .....	29
4.1.4	DDG-1000:n järjestelmäkokonaisuus ja tekniset ratkaisut .....	35
4.2	Littoral Combat Ship - eli LCS-hanke .....	40
4.2.1	Taustalla Streetfighter .....	40
4.2.2	LCS-hankkeen vaatimukset .....	41
4.2.3	LCS-hankkeen toteutuminen .....	45
4.2.4	LCS:n järjestelmäkokonaisuus ja tekniset ratkaisut .....	48
4.3	Aiemmat alukset ja niiden suorituskyky .....	53
4.3.1	Kehitettävä suorituskyky: DDG-51 .....	53
4.3.2	Korvattavat suorituskyvyt: DD-963 ja FFG-7 .....	57
4.4	Yhteenveto hankkeista .....	60
4.4.1	Yhteenveto DDG-1000-hankkeesta .....	62
4.4.2	Yhteenveto LCS-hankkeesta .....	64
<b>5</b>	<b>Laivateknisiä ratkaisuja ja niiden vaikutuksia ominaisuuksiin .....</b>	<b>67</b>
5.1	Päämitat ja runkomuoto .....	67
5.1.1	Päämitat ja runkomuoto: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7 .....	70
5.1.2	Päämitat ja runkomuoto: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963 .....	74
5.2	Kuljetuskoneisto .....	79
5.2.1	Kuljetuskoneisto: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7 .....	80
5.2.2	Kuljetuskoneisto: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963 .....	83
5.3	Rakenteet ja paino .....	86
5.3.1	Rakenteet ja paino: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7 .....	88
5.3.2	Rakenteet ja paino: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963 .....	91
5.4	Yleisjärjestely .....	93
5.4.1	Yleisjärjestely: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7 .....	94
5.4.2	Yleisjärjestely: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963 .....	98
5.5	Yhteenveto laivateknisistä ratkaisuista .....	102
5.5.1	LCS: Lähtökohtana suuri nopeus ja modulaarisuus .....	102
5.5.2	DDG-1000: Lähtökohtana alhainen heräte ja sähköinen koneisto .....	107
<b>6</b>	<b>Johtopäätöksiä ja pohdintaa .....</b>	<b>110</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>118</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>132</b>

# **PINTATAISTELUALUSTEN KEHITTÄMISEN HAASTEET 2000-LUVUN ALUSSA – YHDYSVALTOJEN LAIVASTON LITTORAL COMBAT SHIP - JA HÄVITTÄJÄHANKKEIDEN LAIVATEKNIikka**

## **1 JOHDANTO**

### **1.1 Aihealueen esittely**

Yhdysvaltojen rooli johtavana suurvaltana asettaa sen laivaston taistelualukset teknisen kehityksen esikuviksi muiden valtioiden merivoimille. Tästä johtuen Yhdysvaltojen laivaston (US Navy) pintataistelualusten kehittäminen, sovellettavat teknologiat sekä hankkeiden haasteet ovat myös Suomen merivoimien kannalta mielenkiintoisia vaikka Yhdysvaltojen laivasto on alusten koon ja määrän osalta aivan eri suuruusluokassa.

”Uhkakuvien nopea muuttuminen, tekniikan nopea kehitys eräillä aloilla sekä budjettien supistukset ovat johtaneet tilanteeseen, jossa kauaskantoisten investointipäätösten teko on tullut yhä vaikeammaksi [124]”. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan edellä mainitusta lähtökohdasta US Navy:n pintataistelualusten kehittämistä Littoral Combat Ship (LCS) - ja hävittäjähankkeiden kautta painottuen niiden laivatekniikkaan. Suunniteltujen laivaratkaisujen muutos edellisiin ”laivasukupolviin”, hankkeiden kustannusten voimakas kasvu sekä hankkeiden toteutuksessa tapahtuneet muutokset tekevät kyseiset hankkeet erityisen mielenkiintoisiksi. Kustannusten voimakas kasvu ei ole sinänsä mikään uusi asia. Esimerkiksi englantilaisessa lähteessä [118] mainitaan sotavarustuksen hinnan nousun olleen keskeinen puolustuksen rahoittamisen ongelma 1860-luvulta alkaen.

Laivatekniikan kehitysnäkymiä on esitelty muun muassa Sotateknisessä arviossa ja ennusteissa 2025 (STAE2025) merialusteknologiaa käsittelevässä luvussa. Sen mukaan tarkastelujakson teknologiat sinänsä tunnetaan. Tällöin mielenkiinto kohdistuu siihen miten teknologioita hyödynnetään ja innovaatioita otetaan käyttöön. Tämä on mielenkiintoista myös siksi, että laivasuunnittelu on usein konservatiivista eli hyväksi havaittuja laivatyyppejä käytetään suunnittelun esikuvina kokonaan uudentyyppisten laivojen sijasta. Keskeisiä viimeaikaisia pintataistelualuksiin kohdistuvia vaatimuksia, joilla on ollut vaikutusta teknisiin ratkaisuihin,

ovat monitoimisuus ja modulaarinen taistelujärjestelmä, miehistön lukumäärän alentaminen, havaittavuuden vaikeuttaminen, nopeuden kasvattaminen, miehittämättömien laitteiden käyttö ja suuri sähkötehontarve.

## 1.2 Tutkimustilanne

Tutkittavien hankkeiden perustana olevaa näkemystä merisodankäynnistä on käsitelty Kaarle Wikströmin tutkimuksessa ”Yhdysvaltojen merisodan käynnin kehitysnäkymiä” vuodelta 2005. Wikströmin mukaan Suomen merivoimissa ei ole tehty kylmän sodan jälkeistä Yhdysvaltojen merivoimia, mukaan lukien kehittämishankkeet, koskevaa tutkimusta.

Lähialueiden, käsiteltyssä tapauksessa Iso-Britannian, Saksan, Ruotsin ja Venäjän taistelu-alusten kehitysnäkymiä taktiikan ja operaatiotaidon näkökulmasta on tarkasteltu Sauli Rimmasen YEK 54:n (Yleisesikuntaupseerikurssi) diplomityössä ”Lähialueiden taistelualuskaluston ja sen suorituskyvyn kehittyminen” vuodelta 2009. Työn tavoitteena oli luoda loogisesti jäsenneltyä, historia ja nykyhetken tietoon perustuvaa, uutta tietoa lähialueen merivoimien taistelualuskalustosta ja sen suorituskyvystä.

Taistelualuksen suorituskykyvaatimuksia on käsitelty Kristian Isbergin YEK 53:n diplomityössä ”Merivoimien tulevaisuuden taistelualuksen (TSTAL2017) suorituskykyvaatimukset” vuodelta 2007 sekä tämän diplomityöntekijän EUK 58:n (Esiupseerikurssi) tutkimustyössä ”NATO Naval Group 6:n raportti ‘Small Ship Design’ ja sen käyttö taistelualuksen määrittelyyn esimerkitapauksessa” vuodelta 2006. Komentajakapteeni Vesa Aallon YEK 47:n diplomityö ”Merivalvonta-alukselle 2000-luvulla asetettavat vaatimukset ja Helsinki-luokan ohjusveneiden modernisointi valvonta-aluksiksi” vuodelta 2000 on perustutkimus liikkuvan merivalvonnan sekä Suomen merivoimien alusten merivalvontakyvyn kehittämiseksi 2000-luvun alussa erityisesti vaatimusten osata.

Tämän diplomityön eräänä tarkoituksena on antaa käytännönläheinen ja hieman erilainen näkemys suorituskyvyn kehittämiseen verrattuna puolustusvoimissa tehtyihin suorituskyvyn kehittämiseen sekä ylläpitoon liittyviin viimeaikaisiin tutkimuksiin ja ohjeisiin, jotka ovat painottuneet systemaattisten menettelytapojen käyttöön muun muassa suorituskyvyn elinjakson hallitsemiseksi. Esimerkkeinä näistä metodologisista tutkimuksista ja ohjeista voidaan mainita Pasi Pasivirran ja Jyri Kosolan ”Vaatimustenhallinnan soveltaminen puolustusvoimissa” vuodelta 2004, Jyri Kosolan ”Suorituskyvyn elinjakson hallinta” vuodelta 2007, Petri Suomalainen ja Erkki Uusi-Rauvan ”Elinkaarenaikainen kustannustehokkuus- ja suorituskyky-

tieto päätöksenteon tukena” vuodelta 2008 sekä Petri Hemmingin ”Vaatimustenhallinta elinkaaren operointivaiheen aikana” vuodelta 2007.

### 1.3 Tutkimustehtävä

Päätutkimuskysymys on: Miten DDG-1000- ja LCS-hankkeissa kehitettävien taistelualusten laivatekniset ratkaisut ovat vaikuttaneet aluksien ominaisuuksiin?

Alatutkimuskysymykset ovat:

1. Mitkä olivat uusien ja aiempien aluksien tehtävät sekä niiden taustat?
2. Miten hankkeet ovat toteutuneet ja mitä niihin vaikuttaneita tekijöitä nousi esille?
3. Miten laivatekniset ratkaisut ovat muuttuneet verrattuna aiempiin aluksiin ja miten muutokset ovat vaikuttaneet aluksien ominaisuuksiin?
4. Tunnistettiinko ”hyviä tai huonoja, yleispäteviä” pintataistelualusten laivateknisiä ratkaisuja ja niiden taustalla olevia vaatimuksia, jotka kannattaisi huomioida pintataistelualusten kehittämisessä?

### 1.4 Käsitteet, näkökulmat ja rajaukset

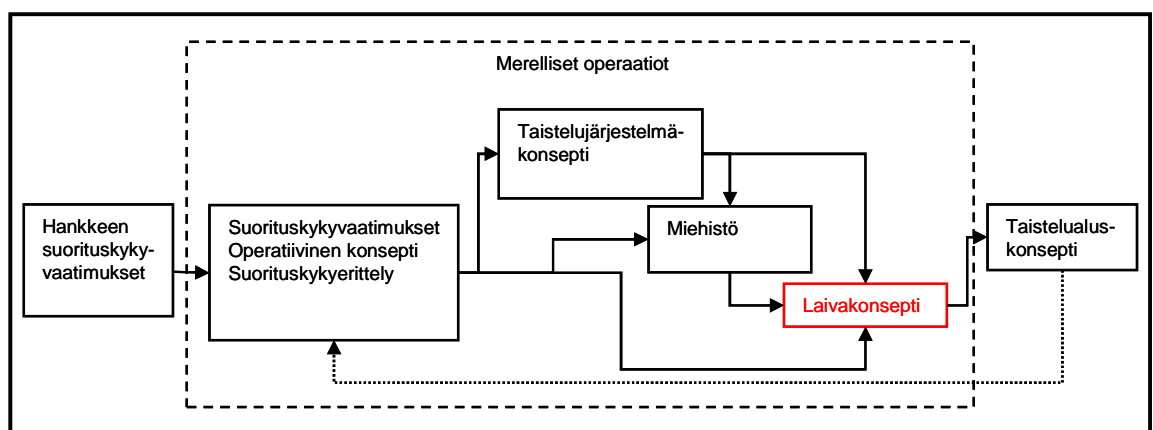
Tutkimuksen keskiössä on taistelualus, joka on suomalaisen määrittelyn mukaisesti sotalukseksi rakennettu ja taistelutehtäviin aseistettu ja varustettu valtion alus [119]. Tutkimuksen kohteena olevia taistelualustyyppisiä käsitellään tarkemmin alaluvussa 3.1. Taistelualuksen voidaan karkeasti ajatella muodostuvan lavetista (platform, seaframe, laiva) ja taistelujärjestelmästä (combat system, ”hyötykuorma”) sekä henkilöstöstä. Hieman kärjistäen voidaan todeta, että sotilaallisessa ajattelussa taistelujärjestelmän merkitys on usein korostunut. Tämä ilmenee esimerkiksi aluksen suorituskyvyn tarkasteluna lähinnä sen aseiden ja sensorien suorituskyvyn kautta.

Tämän tutkimuksen näkökulmana on lavetin teknologian, eli tässä tapauksessa laivatekniikan, analysointi. Käsitteet *teknologia* ja *tekniikka* sekä niiden välinen suhde ovat varsin haasteellisia. Erityisesti käsitettä teknologia käytetään suomenkielessä varsin kirjavasti. Sotateknisessä arviossa ja ennusteessa 2025 (STAE2025) käytetään teknologiasta määritelmää, jonka mukaan se on ”tieteellisen *tiedon soveltamista* ihmiselämän käytännön tavoitteisiin, ihmisen ympäristön muuttamiseen ja manipulointiin [125]”. Puolustusvoimien määritelmärekisterin mukaan ”teknologia on niiden *tieteiden yhteisnimitys*, jotka käsittelevät teknisiä, sekä teoreettisia että käytännöllisiä järjestelmiä ja menetelmiä” [119]. Tekniikka määritellään tässä työssä kie-

litoimiston sanakirjan mukaisesti ”tuotteiden valmistukseksi ja käyttöksi luonnontieteiden sovelluksiin perustuvien keinoin” [72]. Useissa lähteissä teknologia on lähes synonyymi tekniikalle, esimerkiksi kielitoimiston [72] mukaan aseteknologian sijasta tulisi käyttää käsitettä asetekniikka. Osin teknologia tulkitaan tekniikkaa laajempaan kokonaisuuteen. 1980-luvun sanakirjan mukaan teknologia on englanninkieliseen sanaan *technology* liittyen ”tekniikka ja tekniikassa käytettävät luonnontieteet” [129]. Teknologia voidaan myös tulkita eräänlaiseksi yleiskäsitteeksi, jonka alaisuuteen tekniikka asettuu eli teknologia merkitsee ensisijaisesti tietoa, tekniikka tämän konkretisoitumaa [71].

Tässä tutkimuksessa ei yritetty ratkaista käsitteen teknologia määrittelyä, vaan asiaan otettiin käytännöllinen lähestymistapa: tutkimusraportissa käytetään käsitettä laivatekniikka, mutta sen tulkitaan tarkoittavan samaa kuin STAE:n viitoittama käsite merialusteknologia. Tekninen ratkaisu ymmärretään tekniikan konkreettiseksi toteutustavaksi. Käsite innovaatio viittaa tekniseen keksintöön [72].

Alusteknisiä ratkaisuja pyrittiin arvioimaan kriittisesti erityisesti niistä johtuvien laivan ominaisuuksien osalta. Tarkasteltavia ratkaisuja olivat laivan koko ja muoto, koneistot, rakenteet sekä yleisjärjestely (tilojen sijoittelu). Taistelujärjestelmää käsiteltiin lähinnä ”hyötykuorma”-näkökulmasta eikä sen ominaisuuksia tarkasteltu syvällisesti. Toisaalta taistelujärjestelmän katsottiin olevan osa laivaan kohdistuvia vaatimuksia tämän tutkimuksen tekijän esiupseerikurssin 58 tutkimustyössä ”NATO Naval Group 6:n raportti ‘Small Ship Design’ ja sen käyttö taistelualuksen määrittelyyn esimerkkitapauksessa” esitetyllä tavalla (Kuva 1).



Kuva 1. Laivaan kohdistuvat vaatimukset taistelualuksen konseptisuunnittelussa [32]. Tässä työssä laivaa tutkittiin laivatekniikan kautta.

Laivatekniikan kehityksen ja sen vaikutuksen havaitsemiseksi työssä tutkittiin myös Yhdysvaltojen laivaston korvattavissa pintataistelualuksissa käytettyjä teknisiä ratkaisuja. Tämän tarkastelun ulkopuolelle rajattiin muut kuin fregatti- ja hävittäjätyyppiset alukset. Uusien alustyyppien sitomiseksi pintataistelualusten kehitykseen tutkimusraportissa käsitellään pintataistelualustyyppien terminologiaa painottuen fregatteihin ja hävittäjiin. Tämän avulla pyrittiin myös kuvaamaan alustyyppien ominaisuuksia ja niiden merkitystä laivatekniikan kannalta. Tutkittavat alusluokat olivat:

- Hävittäjä DD-963 *Spruance*
- Fregatti FFG-7 *Oliver Hazard Perry*
- Hävittäjä DDG-51 *Arleigh Burke*
- Hävittäjä DDG-1000 *Zumwalt*
- Littoral Combat Ship LCS-1 *Freedom*
- Littoral Combat Ship LCS-2 *Independence*

Uusien alusten kehittäminen tapahtuu hankkeiden kautta. Tämän vuoksi tarkastelu uusien alusten (DDG-1000, LCS-1 ja LCS-2) osalta kiinnitettiin hankkeisiin ja niiden toteutustapaan, vaikka tutkimuksen painopiste olikin laivatekniikassa. Tutkimuksen painopiste uusien alusten osalta oli hankkeiden toteutusvaiheessa (erityisesti vuodet 2005...2010). Tässä yhteydessä korostettakoon, että tutkittavat hankkeet ovat edelleen käynnissä. Tässä tutkimuksessa käsiteltiin hankkeiden toteutumista vuoden 2010 loppuun saakka, eikä sen jälkeisistä tapahtumista ole kerätty tietoa.

Tässä tutkimuksessa tarkastelu rajattiin laivateknisiin ominaisuuksiin. Taloudellisia tekijöitä, kuten tietyn teknisen ratkaisun rahallista arvoa tai elinkaarikustannuksia ei suoranaisesti käsitelty. Poikkeuksena tähän oli alusten hankintoihin liittyvät kustannukset. Lukija voi toki tehdä havaintoja muista kustannuksista, sillä raportissa tulee ilmi eri materiaaleja, erityyppisiä koneita ja henkilöstömääriä. Perusteellinen elinkaarikustannukset huomioiva tarkastelu olisi kokonaan erillisen työn aihe, jolloin tässä työssä esiteltäviä teknisiä perusratkaisuja voisi käyttää tarkastelun yhtenä lähtötietona.

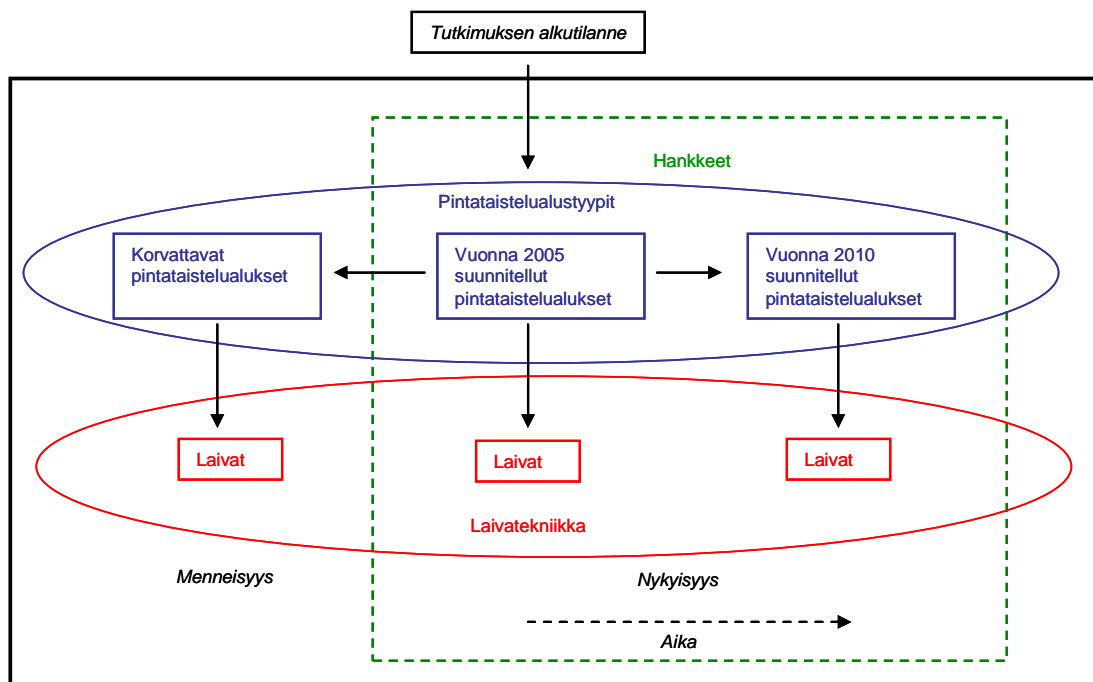
Vaikka tutkimus pyrkiikin olemaan objektiivinen, on tutkimuksen näkökulma jonkin verran kriittinen suhteessa Yhdysvaltojen laivastoon. Tämä ei johdu pelkästään lähteistä, joista osa, kuten myöhemmin mainittavan Congressional Report Service:n (CRS) raportit, on selvästi laivastoon epäilevästi suhtautuvia, vaan myös johdannossa todetusta Yhdysvaltojen esikuvaroolista. Yhdysvaltojen ylivoimaisuus voi helposti aiheuttaa kiusauksen sen tekemien ratkaisu-



jen jäljittelyyn ja omien ratkaisujen perusteluun tyyliin ”Yhdysvallat on jo tehnyt näin...”, josta pahimmillaan voi seurata mahdollisten virheiden toistaminen.

Tutkimuksen avulla ei pyritty kartoittamaan tai kehittämään Suomelle soveltuvan pintataistelualuksen suorituskykyvaatimuksia tai itse laivaratkaisua, koska suurvallon vaatimusten ja toteutuksen voidaan olettaa poikkeavan Suomen tavoitteista kokonaisuuden osalta. Laivatekniset osaratkaisut voivat olla kuitenkin toteuttamiskelpoisia muissakin kuin tarkastelluissa hankkeissa. Tavoitteena oli tunnistaa tarkasteltujen laivateknisten tekijöiden vahvuuksia ja heikkouksia.

Edellä esitettyyn perustuva tutkimuksen viitekehys on alla olevassa kuvassa (Kuva 2). Tutkimusraportti on julkinen, ja tämän vuoksi raportissa ei käsitellä Suomen merivoimien tutkimus- ja esiselvitysprojekteja. Tavoitteena kuitenkin oli, että tämä tutkimus voisi toimia Suomen merivoimien hankkeiden taustamateriaalina.



Kuva 2. Tutkimuksen viitekehys. Nuolet kuvaavat tutkimuksen etenemistä, eivät asioiden riippuvuussuhteita. Tutkimuksen painopiste oli laivatekniikassa.

## 1.5 Tarkennuksia lähteisiin ja raportointiin

Tutkimuksessa käytettiin pääasiallisena Yhdysvaltojen hallinnon näkemystä edustavana lähdekokonaisuutena kongressin tutkimuslaitoksen (CRS, Congressional Report Service) raportteja. CRS:n tehtävänä on tuottaa poliittisia ja oikeudellisia analyyseja edustajainhuoneen ja

senaatin jäsenten sekä valiokuntien käyttöön [15]. Raportit eivät ole lähtökohtaisesti julkisia. Niitä on osittain saatavissa käyttöön muun muassa Center for Democracy and Technology -järjestön ylläpitämästä Open CRS -internetpalvelusta, johon on pyritty keräämään julkituksia raportteja. Open CRS:n internetsivuilla todetaan, että CRS:n raportteja ei ole mahdollista saada kattavasti [103]. Riskinä luonnollisesti on, että syystä tai toisesta kaikkia raportteja ei aseteta saataville. Kyseisten raporttien käyttöön liittyy siis muutamia ongelmia. Ensinnäkin, mitä CRS on halunnut viestittää raportilla ja miksi juuri kyseinen raportti on annettu julkisuuteen? Toisaalta käyttöön saatujen raporttien joukosta voi puuttua jokin oleellinen raportti, jolloin virheellisten johtopäätösten tekeminen puutteellisen aineiston perusteella on mahdollista.

Lähteinä käytettiin myös konferenssisiesitelmiä, esittelymateriaaleja sekä mielipidekirjoituksia. Näiden lähteiden osalta voidaan todeta, että niiden objektiivisuuteen ja kokonaisvaltaiseen tarkasteluun tulee suhtautua varauksella.

Tutkimusraportissa käytetään ensisijaisesti yhdysvaltalaisia termejä ja niiden lyhenteitä. Suomennuksissa on käytetty yleisiä sanakirja suomennuksia (esimerkiksi program, hanke) tai niiden puuttuessa omia suomennuksia (esimerkiksi yhdysvaltalaiset organisaatiot). Erikseen mainittakoon, että englanninkielinen sana "littoral" on käännetty sanaksi "rannikkomeri". Eräitä termejä ei ole suomennettu lainkaan ja tällä hetkellä niistä käytetään ammattikielessä vain englanninkielisiä termejä. Tästä hyvänä esimerkkinä on LCS, jota on käytetty sellaiseen useissa suomenkielisissä kirjoituksissa. Yhdysvaltojen laivastossa pintataistelualusluokka nimetään sarjan ensimmäisen aluksen nimen mukaisesti. Esimerkiksi FFG-7 *Oliver Hazard Perry* tarkoittaa paitsi kyseistä alusta, niin myös koko alusluokkaa, jolloin muun muassa FFG-61 *Ingraham* on FFG-7 *Oliver Hazard Perry* -luokan alus. Ellei muuta mainita, käsitteellä "laivasto" tarkoitetaan Yhdysvaltojen laivastoa.

Yhdysvaltojen valtion varainhoitovuodesta käytetään lyhennettä FY (Fiscal Year). Se alkaa 1. lokakuuta edellisenä vuonna ja päättyy 30. syyskuuta kyseisenä varainhoitovuotena. Esimerkiksi FY2010 alkoi 1.10.2009 ja päättyi 30.9.2010. Raportissa esitetyt rahamäärät ovat indeksikorjaamattomia, ellei muuta mainita, koska indeksien määrittäminen ei ole yksiselitteistä. Lähteessä [14] on tähän liittyvä esimerkki, jossa eri indeksien käyttö Yhdysvaltojen puolustusministeriössä ja laivastoministeriössä johti Yhdysvaltojen hallinnon sisällä 20 % eroon arvioitaessa sarjan ensimmäisen laivan hintaa vuonna 2005 muutettuna vuoden 1985 alkuperäisestä hinnasta.

Raportissa esitettävät suureiden arvot ovat pääsääntöisesti kansainvälisen yksikköjärjestelmän (SI) yksiköissä ja niiden johdannaisissa. Poikkeuksena tähän ovat laivojen nopeudet ja toimintamatkat, jotka ilmoitetaan solmuina ( $1 \text{ kn} = 1,852 \text{ km/h}$ ) ja meripeninkulmina ( $1 \text{ mpk} = 1,852 \text{ km}$ ). Painoyksiköiden osalta on olemassa sekaannusten vaara samankaltaisten nimien vuoksi, tosin virhe on suhteellisen pieni. Yhdysvaltalaisissa lähteissä käytetään sotalaivojen englanninkielisenä massan yksikkönä yleisesti ”ton” tai ”long ton”, joka on itse asiassa ”brittiläinen tonni”. Sen arvo SI-yksikössä on 1016 kg. Englanniksi 1000 kg eli tonni on ”tonne” tai ”metric ton”. Muiden SI-järjestelmän ulkopuolisten yksiköiden nimet erottuvat selvästi SI-järjestelmän yksiköistä.

Laivojen teknisiä tietoja, erityisesti niiden kokoon liittyviä mittoja, kerättiin lukuisista eri lähteistä, kuten laivaston ja toimittajien internetsivuilta, joista voi erityisesti mainita laivaston Naval Vessel Register, ja ”perinteisistä” sotalaivahakuteoksista kuten Jane’s Fighting Ships ja The Naval Institute Guide to Combat Fleets of the World sekä lehtiartikkeleista ja internet-sivustoilta. Näihin tietoihin liittyen oli tyypillistä, että yhdestä lähteestä ei löytynyt kaikkia tarvittavia tietoja ja toisaalta lähteiden välisissä tiedoissa oli eroavaisuuksia. Joistain laivateknisistä tiedoista, kuten esimerkiksi laivan suunnitteluvessiviivan leveydestä, ei löytynyt monessakaan tapauksessa edes ilmoitettua arvoa. Kyseisiä tietoja on kuitenkin mahdollista arvioida kuvien perusteella mittaamalla kyseinen tieto kuvasta ja sen jälkeen suhteuttamalla se johonkin tunnettuun arvoon. Edellä mainituista syistä johtuen tässä tutkimuksessa päätettiin hyväksyä teknisten tietojen tietty epätarkkuus, koska tässä työssä pyritään tekemään yleisiä havaintoja laivateknisistä ominaisuuksista. Tällöin yksittäisten arvojen epätarkkuudella ei ole merkittävää vaikutusta. Täsmällisten arvojen käyttäminen vaihteluvälin sijaan oli tarkoituksen mukaista, koska arvoja käytettiin edelleen muiden parametrien laskentaan. Koska yksittäisiä teknisiä tietoja on suhteellisen paljon, ja niiden työssä käytetyt arvot voivat perustua useaan lähteeseen sekä arviointiin, ei yksittäisiä teknisiä arvoja ole viitteistetty. Lukijan tulee suhtautua asiaan siten, että ne arvot joita ei ole viitteistetty, ovat tämän työn tekijän arvioita.

Koonnos tutkimusraportissa käytetyistä lyhenteistä on liitteenä 1.

## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän luvun tarkoituksena on kuvata tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä eli tutkimuksen metodologiaa.

### 2.1 Yleistä menetelmistä

Tutkimuksessa selvitettiin tapahtumia ja etsittiin uusia näkökulmia sekä yritettiin tunnistaa syy-seuraussuhteita. Tutkimuksen oli tarkoitus olla kartoittava, mutta myös osin selittävä [34]. Pääasiallisena tutkimusaineiston keräämisen menetelmänä oli kirjallisuusselvitys [59]. Aineiston analysoinnissa käytettiin induktiivista eli aineistolähtöistä analyysiä, jossa aineistosta ilmenevien yksittäisten havaintojen kautta pyritään päätyään yleisiin merkityksiin [34]. Sen tukena käytettiin tutkijan ammattiosaamiseen perustuvaa loogista päättelyä.

Laivatekniikan analysoinnin mallina käytettiin laivan konseptisuunnittelun keskeisiä osalualueita, joita ovat laivan koko ja muoto, koneistot, rakenteet sekä yleisjärjestely (tilojen sijoittelu). Koska laivatekniikan analysointi oli sidoksissa laivasuunnitteluun, käsitellään laivasuunnittelun perusteita osana tutkimusmenetelmiä. Tässä yhteydessä on kuitenkin syytä korostaa, että työssä ei sovellettu laivasuunnittelua sellaisenaan.

Tutkimuksen raportoinnin menetelmänä käytettiin prosessikirjoittamisesta [45]. Vaikka se ei ole varsinaisesti tutkimusmenetelmä, oli sillä merkittävä vaikutus tutkimuksen toteutukseen. Prosessikirjoituksessa iteratiivinen, varhaisessa vaiheessa alkava kirjoittaminen toimii apuna ajatusten jäsentämisessä ja kehittämisessä. Tähän työskentelytapaan kuuluu se, että työn visiona olevaa sisällysluetteloa pohditaan yhä uudelleen työn kuluessa eikä kirjoittaminen etene välttämättä järjestelmällisesti alusta loppuun. Myös tutkimusprosessin lähtökohtia voidaan joutua tarkistamaan useaan kertaan johtuen yllättävistä ja ennalta arvaamattomista havainnoista [34]. Toisaalta havaintoaineiston analysointi yleisemmiksi merkityksiksi ja selitysmalleiksi tapahtuu laadullisessa tutkimuksessa nimenomaan kirjoittamisella ja uudelleen kirjoittamisella, jolloin kirjoittaminen on olennainen osa tutkimusta [34].

### 2.2 Taustaa laivatekniikan analysoinnille: laivasuunnittelun perusteita

Laivasuunnittelun perustana ovat tehtävän mukaiset laivatyytit, joita karkeasti jaoteltuna ovat kauppalaivat, teollisuuslaivat (esimerkiksi öljynetsintälaivat), palvelulaivat (esimerkiksi

hinaajat) ja sotalaivat [133]. Tehtävän mukainen laivatyyppi korostaa sekä laivan teknisiä että taloudellisia ominaisuuksia [133]. Suunnittelun lähtötietona ovat laivan ja sen suorituskyvyn omistajan asettamat vaatimukset. Sotalaivan keskeisiä laivaan kohdistuvia vaatimuksia voivat olla esimerkiksi laivaan sijoitettava taistelujärjestelmä ja sen käyttö, henkilöstö, käytettävät nopeudet, toimintamatka ja -aika, liikehtimiskyky sekä toimintaympäristö (sää/ilmastot ja uhka).

Laivan teknisen suunnittelun kannalta on kolme peruslaivatyyppiä, joita ovat painorajoitettu laiva (paino on hyötykuorman määrää rajoittava tekijä), tilavuusrajoitettu laiva (tilavuus on hyötykuorman määrää rajoittava tekijä) sekä päämittarajoitettu laiva (jokin vaadittu rungon pituusmitta rajoittaa laivan kokoa) [133]. Yleisesti ottaen sotalaivat ovat tilavuusrajoitettuja, tosin joissain tapauksissa sääkannen pituus voi rajoittaa sinne tyypillisesti pituussuunnassa sijoitettavia järjestelmiä [121]. Edellä mainittu tilanne voi olla seurausta siitä, että laivan kokoa on haluttu rajoittaa pituuden avulla.

Laivasuunnittelu jaetaan yleisesti neljään päävaiheeseen, jotka ovat [127]:

- konseptisuunnittelu (concept design)
- alkusuunnittelu (preliminary design)
- sopimussuunnittelu (contract design)
- valmistusaineiston laadinta (detail design)

Laivan konseptisuunnitteluvaiheessa, jossa suunnittelu siis aloitetaan, lähtötiedot saattavat olla vielä puutteellisia ja epätarkkoja. Konseptisuunnittelun keskeisiä osa-alueita, ja joita myös tässä tutkimuksessa käytettiin laivateknisten ratkaisujen analysoinnin mallina, ovat:

- koko ja muoto
- koneistot
- rakenteet
- yleisjärjestely (tilojen sijoittelu)

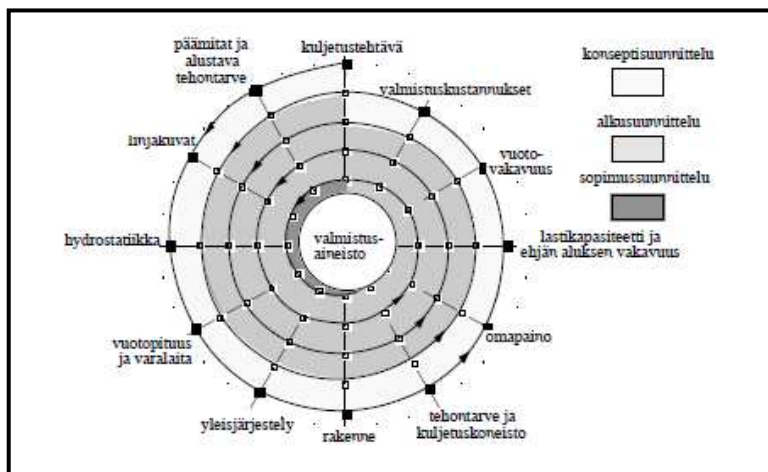
Kyseisessä suunnitteluvaiheessa pyritään tekemään suunnitteluosa-alueiden perusratkaisuja, jolloin lopputuloksena saadaan esimerkiksi laivan päämitat, alustava runkomuoto, alustava tehontarve, kuljetuskoneiden tyyppi ja määrä, alustava rakenne ja painoarvio sekä alustava yleisjärjestely. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vastaavan taseoisia perusratkaisuja, mutta jo kokonaan suunniteltujen alusten osalta.

Tyypillisiä laivasuunnittelun alkuvaiheessa huomioitavia taistelualuksen teknisiä ominaisuuksia (suunnittelukriteerejä) ovat esimerkiksi:

- Hydrodynamiikka: kelluvuus ja vakavuus, kulkuvastus, liikkeet aallokossa, ohjailu
- Rakenne: lujuus, paino, painopiste
- Hyötykuorman kuljetuskyky: tilavuus, paino, sijoittelu
- Koneisto: teho, polttoainetalous
- Muut: taistelunkestävyys ja herätteet

Koska konseptisuunnittelussa ominaisuuksien arviointi perustuu yleisellä tasolla oleviin ratkaisuihin, on ymmärrettävä, että ominaisuuksien arvioinnin tulokset ovat suuntaa-antavia. Niitä ei voi verrata eri osa-alueiden yksityiskohtaisen suunnittelun perusteella tehtyihin tarkoihin laskelmiin, mallikokeisiin ja simulointeihin.

Laivasuunnittelulle on ominaista useat suunnittelukierrokset (laivasuunnitteluspiraali, Kuva 3), jossa päätökset tarkentuvat tiedon lisääntyessä suunnittelun eri vaiheissa. Suunnittelu on siis iteratiivinen prosessi, jossa tehdyt ratkaisut vaikuttavat takaisin vaatimuksiin. Toteuttamiskelpoisen ratkaisun löytämiseksi vaatimuksia voidaan joutua muuttamaan teknisten tai taloudellisten reunaehtojen vuoksi. Laivasuunnittelussa laivatyyppi vaikuttaa suunnittelukriteereihin ja niiden painotuksiin sekä sitä kautta myös iterointiin [133]. Tässä työssä tehtiin arvio ikään kuin iteraatiokierroksen lopussa, eli lopputuloksena olevien laivateknisten ratkaisujen vaikutusta ominaisuuksiin arvioitiin.



Kuva 3. Esimerkki laivasuunnitteluspiraalista [133]. Taistelualuksen tapauksessa "kuljetustehtävä" tulisi olla "tehtävä" tai "suorituskykyvaatimukset".

Laiva on erittäin monimutkainen kokonaisuus, jossa suunnittelun eri osa-alueiden lukuisat tekniset ratkaisut ovat vuorovaikutuksessa keskenään johtuen niiden yhteisvaikutuksista eri

ominaisuuksiin [120, 30]. Ideaalitilanteessa teknisillä ratkaisulla saadut ominaisuudet vastaisivat asetettuihin vaatimuksiin ja suunnittelukriteereihin. Käytännössä tämä on erittäin haastavaa, sillä yksittäisellä teknisellä ratkaisulla voi olla vaikutusta useisiin ominaisuuksiin. Tällöin tietty vaatimus voi johtaa teknisiin ratkaisuihin, jotka johtavat epätoivottuun ominaisuuteen vaikka alkuperäiseen vaatimukseen olisi kyettykin vastaamaan. Historiallisena esimerkkinä tästä on ruotsalaisen purjelaiva *Wasan* kaatuminen vuonna 1628 [133]: alukseen oli onnistuttu sijoittamaan kuningas Kustaa II Adolfin haluama määrä tykkejä ja alus kellui, mutta tykeistä johtuen aluksen painopiste oli liian korkealla, eikä alus ollut vakaa. Tyypillinen nykyaikaista sotalaivaa koskeva esimerkki on toimintamatka, jota voidaan kasvattaa lisäämällä polttoainesäiliöiden tilavuutta, mutta samalla pienentäen muun hyötykuorman, vaikka asejärjestelmien, kuljetuskykyä [121]. Vaatimukset voivat sisältää myös teknisiä ratkaisuja reunaehtojen muodossa. Tästä voidaan mainita esimerkkinä laivan maksimi kulkusyväys, joka siis reunaehtona rajoittaa suunnittelijan vapautta teknisten ratkaisujen osalta.

Laivaa tulee siis tarkastella kokonaisuutena ymmärtäen, että yksittäisen tekijän vaikutus seurannaisvaikutuksineen pitää tarkastella kaikilla osa-alueilla. Juuri tästä syystä eli monimutkaisen kokonaisuuden hallitsemiseksi suunnittelu perustuu kokonaisiin suunnittelukierroksiin sekä iterointiin. Alan kirjallisuudessa, esimerkiksi lähteissä [30, 120, 121, 127, 133] on esitetty erilaisia suunnitteluprosessiesimerkkejä, mutta ne eivät kuvaa yksiselitteisesti eri teknisten ratkaisujen ja ominaisuuksien vuorovaikutuksia. Lähteen [120] johdannossa on yleisellä tasolla oleva kaaviokuva vuorovaikutuksista, mutta senkin tarkoitus vaikuttaa olevan vuorovaikutuksen olemassa olon kuvaaminen ennemmin kuin todella kuvata asioiden riippuvuussuhteita. Laiva-alan kirjallisuudessa on esitetty yleisellä tasolla olevia näkökulmia ominaisuuksien huomioinnista suunnittelun eri osa-alueilla alkuvaiheen teknisten ratkaisujen tekemisen avuksi, mikä auttaa myös kokonaisuuden hahmottamista. Näistä voidaan mainita esimerkkinä ”nyrkkisäännöt” päämittasuhteiden vaikutuksesta laivan kulkuvastukseen ja liikkeisiin aallokossa.

## 2.3 Laivatekniikan analysointi

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään laivoihin kohdistuneita vaatimuksia osana hankkeiden tarkastelua (luku 4), ja löytämään niiden joukosta keskeisiä vaatimuksia ja suunniteltua ohjanneita tekijöitä eli design drivereita laivateknisen arvioinnin lähtötiedoiksi. Itse laivatekniikkaa analysoitiin vertailemalla aiempien ja uusien alusten teknisiä ratkaisuja.

Kuten jo aiemmin todettiin, tässä tutkimuksessa ei käsitelty suunnittelun eri vaiheita, vaan lähtökohtana oli ”valmis” laiva, jota arvioitiin konseptisuunnittelun menetelmin. Laivasuun-

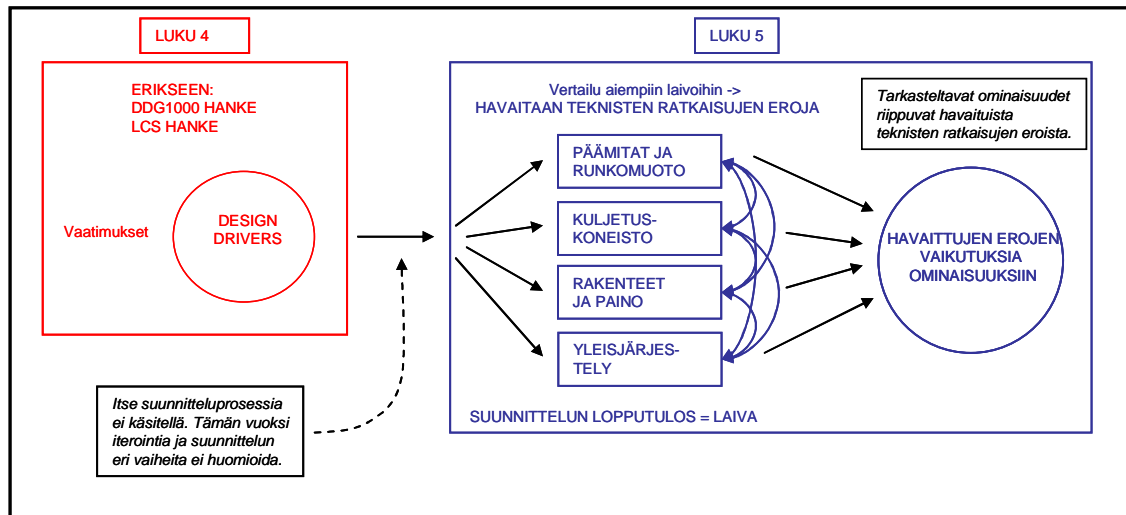
nittelun merkitys tässä työssä oli tarkastelun rakentuminen suunnittelun eri osa-alueille sekä niissä sovellettavien alkuvaiheen arviointimenetelmien käyttö.

Laivateknisten ratkaisujen tarkastelu (luku 5) tehtiin laivasuunnittelun keskeisten osa-alueiden, eli päämittojen ja runkomuodon, koneistojen, rakenteiden ja yleisjärjestelyn avulla huomioiden, että osa-alueet ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa. Kunkin laivatekniikkaa käsittelevän alaluvun alussa on kuvattu esimerikinomaisesti mihin ominaisuuksiin kyseisellä laivasuunnittelun osa-alueella on vaikutusta sekä kyseisen osa-alueen arvioinnin perusteita. Koska edellä mainitut kuvaukset on sidottu suoraan käsiteltäviin tapauksiin, ei suunnittelun osa-alueiden vaikutusta ominaisuuksiin käsitellä erikseen tässä yhteydessä. Joitain vuorovaikutuksia kuvataan sanallisesti laivateknisen tarkastelun yhteydessä. Myös nämä kuvaukset ovat esimerkinomaisia ja niiden tarkoituksena on liittää suunnittelun eri osa-alueita toisiinsa. Kuten jo aiemmin on todettu, on suunnittelun eri osa-alueiden ja ominaisuuksien riippuvuussuhteet erittäin laajoja ja monimutkaisia. Tässä tutkimuksessa ei yritetty kehittää kokonaisvaltaista mallia riippuvuussuhteista, vaan tyydyttiin laiva-alan kirjallisuudessa yleisesti käytettyihin sanallisiin kuvauksiin.

Keskeinen, erityisesti runkomuodon ja päämittojen osalta sovellettu menetelmä oli parametrien numeerinen vertailu, joka on laivan konseptisuunnittelussa yleisesti käytetty tapa vertailla eri vaihtoehtoja [127]. Numeerinen vertailu perustuu muun muassa laivojen päämittoihin, painotietoihin ja koneistoihin liittyviin numeerisiin arvoihin sekä niistä laskettaviin parametreihin. Myös laadullisia tekijöitä vertailtiin. Laadullisista teknisistä perusratkaisuista voidaan mainita esimerkkeinä laivan kyljen ja pohjan liitoksen muoto (pyöreä / terävä), moottorityyppi (diesel / kaasuturbiini) sekä rungon materiaali (teräs / alumiini).

Käytettävissä olevien numeeristen parametrien sekä kuvista havaittujen tai lähteistä esiin tulleiden laadullisten teknisten perusratkaisujen eroja vertailemalla pyrittiin tekemään laadullisia arvioita ratkaisujen vaikutuksesta ominaisuuksiin. Lisäksi eroja pyrittiin havainnollistamaan kuvailemalla teknisiä ratkaisuja. Tämä korostui erityisesti laivan yleisjärjestelyn osalta. Ominaisuuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä suunnittelun lopputulosta, mutta itse suunnittelussa samat tekijät voivat toimia kriteereinä. Arviointi tehtiin siltä osin kun sillä oli merkitystä tiettyyn ominaisuuteen eli arvioidut ominaisuudet riippuivat havaituista teknisistä eroista. Tässä työssä käytetty analysointimalli on seuraavassa kuvassa (Kuva 4).





Kuva 4. Tutkimuksessa käytetty laivatekniikan analysoinnin malli.

Yhteenvetona edellä mainitusta voidaan todeta, että laivateknisen tarkastelun lähtökohtana olivat teknisten ratkaisujen erot, ja tarkasteltavat ominaisuudet valikoituivat havaittujen teknisten ratkaisujen erojen perusteella. Tästä johtuen teknisten ratkaisujen vaikutuksia ominaisuuksiin kuvataan ratkaisujen vertailun käsittelyn yhteydessä. Myös joitain teknisiä yhtäläisyyksiä kuvataan, mutta niistä johtuvia ominaisuuksia ei luonnollisesti vertailla.

### 3 JOHDATUS AIHEESEEN

Tämän pääluvun tarkoituksena on olla johdatus aiheeseen tutkittavien alustyyppien sekä Yhdysvaltojen laivaston pintataistelualusten kehittämisen taustojen käsittelemisen kautta.

#### 3.1 Alustyyppit

Tässä työssä tarkastellut pintataistelualustyyppit olivat ”perinteiset” fregatti ja hävittäjä sekä uutena alustyyppinä Littoral Combat Ship. Vaikka perinteisiä laivatyyppejä käytetään yleisesti kuvaamaan taistelualuksia, ei niille ole kansainvälisesti hyväksyttyjä määritelmiä. Fregatteja eli täystakiloituja purjelaivoja käytettiin sotalaivoina jo purjelaiva-aikakaudella 1600-luvulta alkaen [49]. 1700-luvun sotalaivafregatissa oli tyypillisesti 24...44 tykkiä yhdellä kannella, ja niitä käytettiin lähinnä saattue- ja kaapparitehtäviin [58]. Fregateilla voidaan todeta olevan vuosisataiset perinteet saattajatehtävistä. Käsitteen hävittäjä taustalla on ”torpedovenehävittäjä” (torpedo boat destroyer) yli sadan vuoden takaa [121]. Torpedovenehävittäjät, joiden nimitys muuttui myöhemmin pelkäksi hävittäjäksi, kehitettiin 1890-luvulla torpedoveneiden pohjalta, mutta ne olivat suurempia ja nopeampia kuin sen aikaiset torpedoveneet ja niissä oli torpedoputkien lisäksi pienet tykit [58]. LCS:lla ei ole samanlaista historiallista taustaa kuin fregateilla ja hävittäjillä.

Yhdysvaltalaisen jaottelun mukaan taistelualukset jaetaan pintataistelualuksiin, lentotukialuksiin, maihinnousualuksiin ja sukellusveneisiin. Historiallisesti tarkasteltuna pintataistelualukset ovat muodostaneet 30...40 % laivaston taistelualusten lukumäärästä. Pintataistelualuksiin kuuluvat laskevassa kokojärjestyksessä taistelulaivat, risteilijät, hävittäjät, fregatit, korvetit ja partioalukset. Viime vuosikymmeninä laivastolla on ollut pääasiassa risteilijöitä (25 alusta vuonna 2004), hävittäjiä (48 alusta vuonna 2004) ja fregatteja (30 alusta vuonna 2004). [106]

Yhdysvaltojen nykyiset taistelualustyyppit ovat vuodelta 1975 [27]. Silloin aiempi fregatti (DLG, Destroyer Leader Guided Missile) alustyyppi muutettiin ohjusristeilijäksi (CG, Cruiser Guided Missile) tai hieman pienempien alusten osalta ohjushävittäjäksi tai hävittäjäksi (DDG, Destroyer Guided Missile; DD, Destroyer). Samalla aiempi avomerisaattaja tai saattohävittäjä (DE, Destroyer Escort) alustyyppi muutettiin ohjusfregatiksi tai fregatiksi (FFG, Frigate Guided Missile; FF, Frigate). Yhdysvalloissa alustyyppitarkenne ”G” on tarkoittanut alueil-matorjuntakykyä (kantama yli 10 mpk eli yli 18 km) eli kykyä alusosaston ilmapuolustukseen omasuojailmatorjunnan lisäksi [27, 137].

Kylmän sodan aikana, aina 1980-luvulle saakka yhdysvaltalaisen pintataistelualusten keskeinen tehtävä oli toimia saattajina eli suojata muita laivaston aluksia (lentotukialuksia, maihinnousualuksia ja apualuksia) sekä kauppa-aluksia sukellusveneentorjunnalla ja ilmatorjunnalla. Muita tehtäviä olivat pintatorjunta sekä maa-ammunnat tykistöllä. [106]

1980-luvun lopulta olevan lähteen [30] mukaan hävittäjien uppouma oli 5000...10000 tonnia ja fregattien uppouma oli 3000...4000 tonnia. Kyseisen lähteen mukaan yhdysvaltalaiset hävittäjät olivat painottuneet ilmatorjuntaan (AAW, Anti-Air Warfare) ja vastaavat neuvostoliittolaiset alukset pintatorjuntaan (ASuW, Anti-Surface Warfare) ja sukellusveneentorjuntaan (ASW, Anti-Submarine Warfare). Toisen maailmansodan jälkeen Yhdysvalloissa ja muissa länsimaissa lentotukialusosastojen suurta nopeutta pidettiin suojana sukellusveneitä vastaan, jolloin hävittäjien keskeiseksi tehtäväksi muodostui lentotukialusosaston ilmatorjunta [27, 44]. Neuvostohävittäjien toisenlainen rooli selittyy sillä, että niillä ei ollut lentotukialusten suojaamiseen liittyvää ilmapuolustustehtävää [44]. Nopeiden ydinsukellusveneiden kehittyminen pakotti myös länsimaat huomioimaan sukellusveneet lentotukialusten uhkana [27, 44]. Fregatit oli tarkoitettu ensisijaisesti sukellusveneentorjuntaan, mutta niillä oli myös kohtalainen pinta- ja ilmatorjuntakyky [30]. Sukellusveneentorjuntatehtävän taustalla oli hitaiden kauppa-aluslaivojen suojaus [44].

Lähteen [137] mukaan sekä hävittäjät että fregatit ovat varsinaisia (major) taistelualuksia. Sen mukaan hävittäjien uppouma vanhemmilla aluksilla on 4000 tonnin luokkaa, kun taas suurimpien uusien hävittäjien uppouma on 10000 tonnin luokkaa. Niiden tehtävä on risteilijän tai lentotukialuksen johtaman taisteluosaston tukeminen. Saman lähteen mukaan fregattien uppouma on noin 1500...6000 tonnia. Ne ovat siis pienempiä kuin hävittäjät ja niiden suorituskyky on alhaisempi. Nato Naval Group 6 laatiman Small Ship Design -raportin mukaan fregattien uppouma on 3000...5000 tonnia [73].

Vaikka länsimaissa aluksilla on ollut pääosin samantyyppisiä tehtäviä, ovat yhdysvaltalaiset taistelualukset yleisesti ottaen suurempia kuin vastaavantyyppiset eurooppalaiset alukset. Esimerkiksi englantilaisen laivasuunnittelukirjan [121] mukaan fregattien ja hävittäjien uppoumat ovat 2500...6000 tonnia. Eräs syy kokoeroon on yhdysvaltaisten alusten pidemmät toimintamatkavaatimukset [27]. Yleisesti ottaen yhdysvaltalaisen hävittäjien koon kasvuun on vaikuttanut 1950-luvulta alkanut kehitys, jossa aluksiin sijoitettiin paljon tilaa vieviä ilmatorjuntaohjusjärjestelmiä tutkineen. Jo aiemmin mainitun hyökkäysydinsukellusveneuhankunnan vuoksi aluksilla tarvittiin kehittyneitä kaikumittaimia, sukellusveneentorjunta-aseita (torpedoja ja ohjuksia) sekä helikoptereita [44].

Yhdysvaltaisten pintataistelualusten puolustuksellinen saattajarooli muuttui 1980-luvun lopussa kolmen uuden järjestelmän myötä. Nämä järjestelmät olivat tuli-iskun mahdollistanut Tomahawk-risteilyohjus, pystylaukaisujärjestelmä (VLS, Vertical Launching System) sekä ilmapuolustuskykyä merkittävästi parantanut Aegis-taistelunjohtojärjestelmä, jonka keskeinen osa oli SPY-1-tutka. Alusten rooli kehittyi näiden järjestelmien kautta kohti hyökkäyksellistä kykyä. [106]

Tällä hetkellä Yhdysvaltojen laivasto määrittelee tässä työssä käsiteltävät alustyyppit seuraavasti: Hävittäjät ovat taistelualuksia, joilla on monipuolisia puolustuksellisia ja hyökkäyksellisiä kykyjä (ilmapuolustus, sukellusveneentorjunta, pintatorjunta sekä tuli-isku). Ne voivat toimia itsenäisesti tai osana lentotukialusrunkoista iskuosastoa (CSG, Carrier Strike Group), pintatoimintaosastoa (SAG, Surface Action Group), maihinnousuvalmiusosastoa (ARG, Amphibious Ready Group) tai liikkuvaa täydennysosastoa (URG, Underway Replenishment Group). Fregatit toimivat sukellusveneentorjunta-aluksina suojaten laivasto-osastoja ja kauppa-alussaattueita. Yhdysvaltojen laivaston mukaan fregatit ovat vain yhden tehtävän (saattaja) aluksia. LCS on nopea, ketterä, tiettyyn tehtävään yhdellä kertaa suunnattu alus, joka voi toimia rannikkomerillä, mutta myös valtameriolosuhteissa. Se on suunniteltu torjumaan epäsymmetrisiä uhkia kuten miinoja, hiljaisia dieselkäyttöisiä sukellusveneitä ja pikaveneitä. [102]

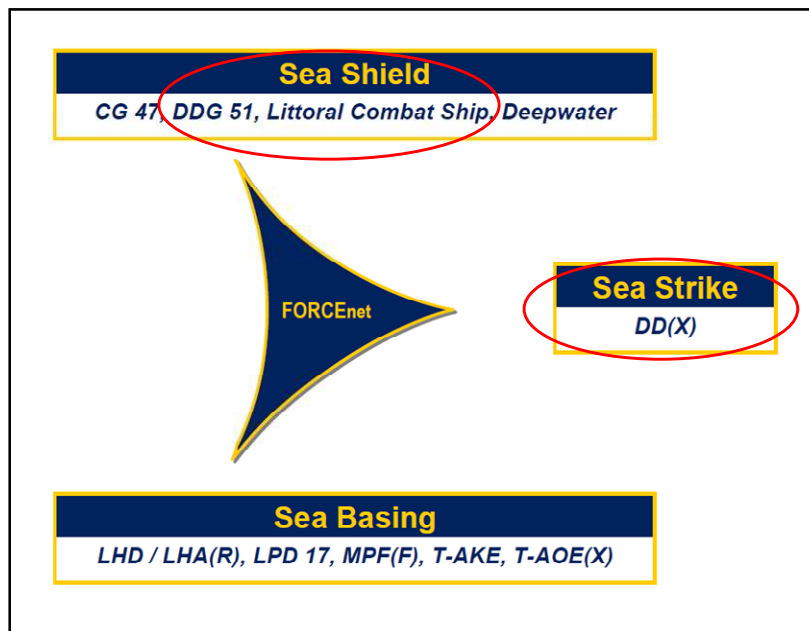
## 3.2 Taustaa Yhdysvaltojen pintataistelualusten kehittämislle

### 3.2.1 Yhdysvaltojen merivoimien tehtävät ja kehittäminen

Yhdysvaltojen merivoimien päätehtävät ovat [140]: Sea Control (merenherruus), Forward Presence (eteentyönnetty merivoima ja merivoimadiplomatia), Power Projection (voiman heijastaminen), Strategic Sealift (strategiset merikuljetukset) ja Strategic Deterrence (ydinsukellusveneiden pelotevaikutus). Yhdysvaltojen merivoimien kehittäminen perustuu vuonna 2002 julkaistuun Sea Power 21 -viitekehykseen. Sen peruspilarit ovat [132, 140]:

- Sea Strike – merellinen iskukyky
- Sea Shield – merellinen suoja
- Sea Basing – merellinen tukeutumisjärjestelmä

Seuraavassa kuvassa (Kuva 5) on vuonna 2005 esitetty näkemys eri alusluokkien roolista Sea Power 21 -kehyksessä. Kuvassa on ympyröity punaisella tässä tutkimuksessa käsiteltäviä aluksia.



Kuva 5. Sea Power 21 ja näkemys aluksien rooleista vuonna 2005 [117].

Merellisen iskukyvyn tärkeimmät kehitettävät osa-alueet ovat kaukovaikutteiset iskut ja maihinnousut suoraan mereltä kohteelle. Merellisen suojan keskeiset osat ovat ohjuspuolustus ja merenherruus sekä sukellusveneentorjunta, miinasodankäynti, pintatorjunta ja joukkojen lähisuoja. Merellinen tukeutumisjärjestelmä on pohjana iskukyvylle ja suojalle. Se tarjoaa suojattuna tukialueena toimivan yhdistetyn uivan sataman, lentokentän ja tukikohdan. [140]

Sea Power 21:n tarkoituksena on toimia Naval Transformation:n viitekehyksenä. Kaarle Wikström on suomentanut termin “Naval Transformation” tarkoittamaan Yhdysvaltojen merivoimien uudistamisen käytännön toteutusta [140]. Naval Transformation on osa koko Yhdysvaltojen puolustuksen muutosta (Defence Transformation), joka johtuu merkittävistä tekniikan ja kansainvälisen turvallisuuden muutoksista vaikuttaen aseisiin, organisaatioihin ja toimintatapoihin [105]. Muutos on askeleenomainen ollen vastakohta tasaiselle evoluutiolle. Naval Transformation:n keskeiset osa-alueet ovat seuraavassa taulukossa (Taulukko 1).

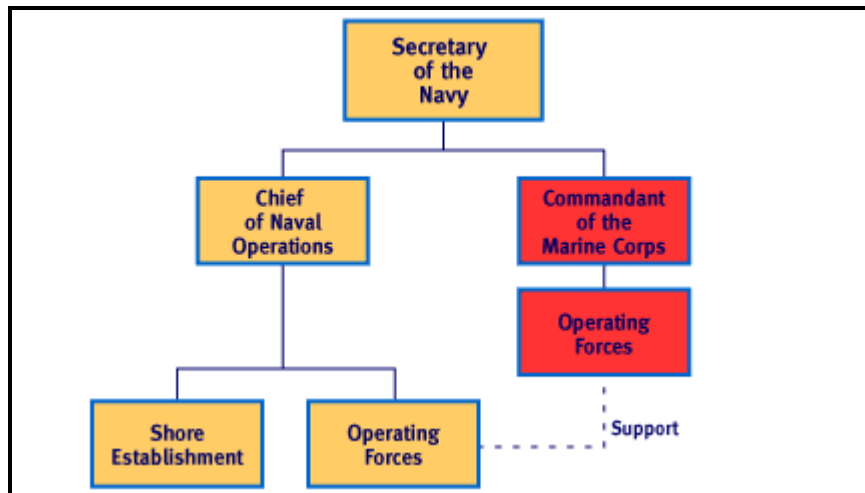
Taulukko 1. US Navy Transformation: keskeiset osa-alueet [105].

Previous U.S. naval forces	Transformed U.S. naval forces
Plan for stand-alone, mid-ocean operations against Soviet naval forces	Plan for joint operations in littoral waters against regional adversaries
Platform-centric operations	Network-centric operations
Manned platforms only	Significant use of unmanned vehicles
Intermediate land bases established to support expeditionary operations ashore	Expeditionary operations launched and supported directly from sea bases
Primary formations are carrier battle groups and amphibious ready groups	Use of new naval formations, such as expeditionary strike groups
Manpower-intensive ships and shore operations; people treated as a “free good”	Ships and shore operations with fewer people; cost of personnel fully recognized
Traditional ship-deployment cycles	New, more flexible ship-deployment cycles
Traditional business practices	Streamlined, reformed practices

### 3.2.2 Yhdysvaltojen laivaston materiaallinen kehittäminen ja sen organisointi

Yhdysvaltojen puolustusministeriön (Department of the Defence, DOD) ja sen alajohtoportaiden sekä joukkojen organisaatiot ja johtosuhteet olisivat kokonaan oman selvityksen aihe. Seuraavassa on katsaus tämän tutkimuksen kannalta keskeisiin puolustusministeriön alaisen laivastoministeriön (Department of the Navy, DON) ja sen alaisten organisaatioiden osiin. Lisätietoja organisaatioista löytyy muun muassa Yhdysvaltojen laivaston internetsivuilta ([www.navy.mil](http://www.navy.mil)).

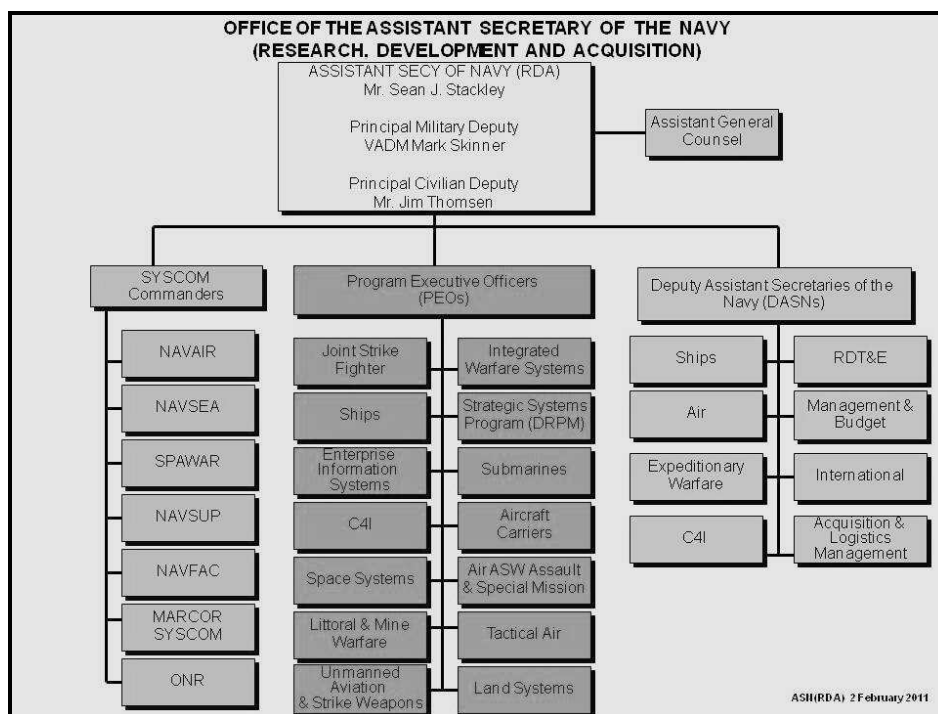
Yhdysvaltojen merivoimat (US Naval Forces) koostuu kahdesta puolustushaarasta: laivastosta (the United States Navy, komentaja: Chief of Naval Operations) ja merijalkaväestä (the United States Marine Corps, komentaja: Commandant of the Marine Corps) [105, 140]. Molemmat puolustushaarat ovat laivastoministerin (SECNAV, Secretary of the Navy) johdossa [101], joten merivoimat ei ole varsinaisesti puolustushaara. Merivoimien johtosuhdekaavio on seuraavassa kuvassa (Kuva 6).



Kuva 6. Yhdysvaltojen merivoimien puolustushaarojen johtosuhteet [99].

Laivastoministeri johtaa laivastoministeriön kokonaistoimintaa, johon sisältyy myös materiaali-hankinnat [101]. Laivastoministeriön tutkimuksen, kehittämisen ja hankintojen apulaislaivastoministerin (The Assistant Secretary of the Navy for Research, Development and Acquisition) tehtävänä on toimeenpanna Yhdysvaltojen merivoimien hankinnat [19]. Tutkimus-, kehittämis- ja hankintaorganisaatio on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 7). Organisaatio on, siihen sen syvemmin paneutumatta, monimutkainen sisältäen johto- ja ohjaussuhteita eri johtoportaisiin.

Esimerkkinä tästä voidaan mainita, että Systems Command (SYSCOM) -organisaatioilla on johtosuhde laivaston operatiivisiin joukkoihin, koska Systems Command -organisaatioilla on vastuu operatiivisten joukkojen käytössä olevien järjestelmien hankinnoista ja järjestelmätuesta [19]. Toinen esimerkki johtosuhteista on hankkeidensa elinjaksohallinnasta vastaavat Program Executive Officer (PEO) -organisaatiot. Esimerkiksi Naval Sea System Command:n (NAVSEA) yhteydessä toimivat PEO:t raportoivat operatiivisen käytön aikaisista asioista NAVSEA:n komentajalle sekä hankinnoista tutkimuksen, kehittämisen ja hankintojen apulaislaivastoministerille [74].



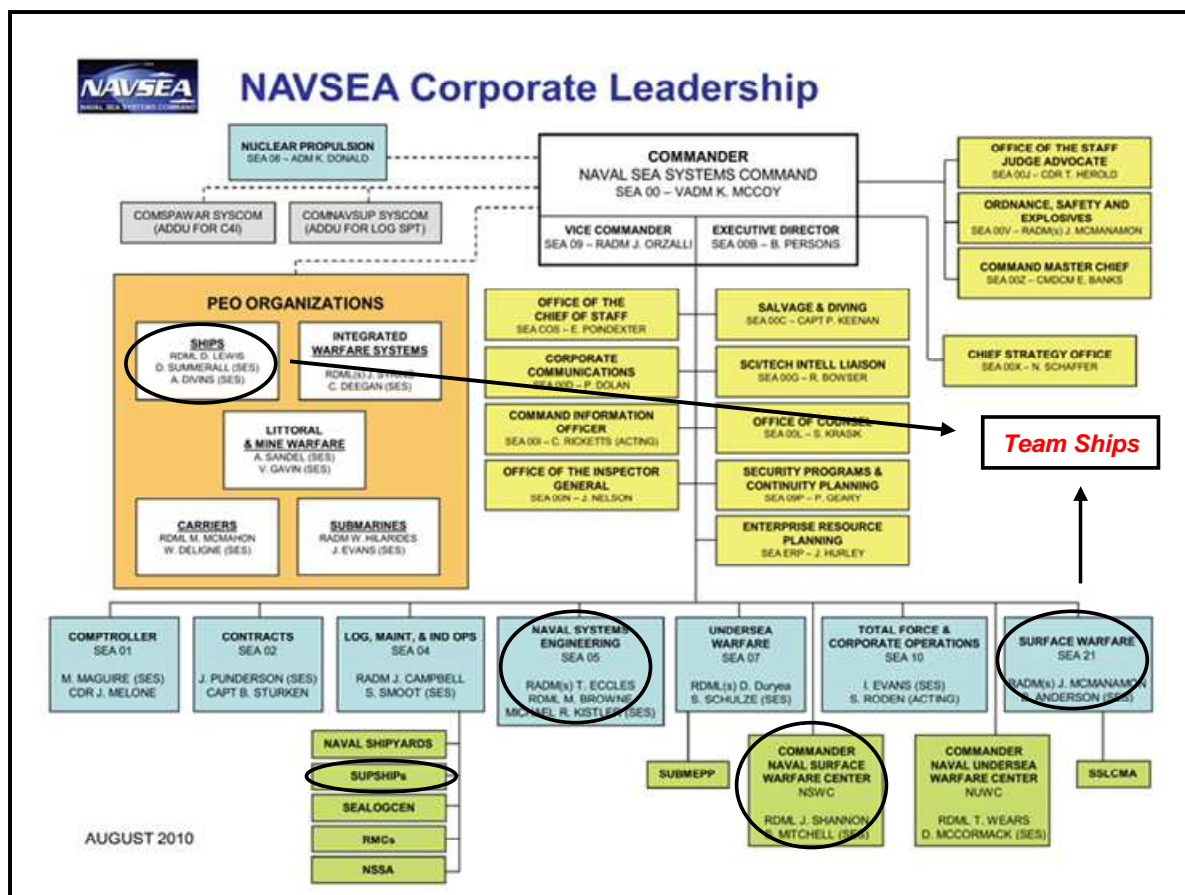
Kuva 7. Yhdysvaltojen laivastoministeriön ohjauksessa toimiva tutkimus-, kehittämis- ja hankintaorganisaatio vuonna 2011 [18].

NAVSEA (Kuva 8) on suurin System Command -organisaatio: sen palveluksessa on 53000 henkilöä ja sen vuosibudjetti oli 24,8 miljardia dollaria vuonna 2008 (noin ¼ koko laivaston budjetista). Sen tehtävänä on suunnitella, rakentaa, hankkia ja ylläpitää laivaston alukset ja sukellusveneet sekä niiden taistelujärjestelmät [77]. Sen keskeisiä pintataistelualusten tutkimukseen, kehittämiseen ja hankintoihin liittyviä organisaation osia ovat:

- PEO Ships (Program Executive Office, Ships), vastaa tavanomaisten (ei-ydinkäyttöisten) pinta-aluksien hankinnoista aiemmin esitettyjen johtosuhteiden mukaisesti [74].
- SEA21 (Surface Warfare), vastaa palveluskäytössä olevien tavanomaisten (ei-ydinkäyttöisten) pinta-alusten ylläpidosta ja modernisoinnista [75].
- SEA05 (Naval Systems Engineering), vastaa laivojen, sukellusveneiden ja niiden taistelujärjestelmien suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa tarvittavasta teknisestä sekä tieteellisestä ohjauksesta ja asiantuntijuudesta [75].
- NSWC (Naval Surface Warfare Center), toimii laivaston tutkimuslaitoksena pinta-alusten osalta [76].
- SUPSHIP (Supervisor of Shipbuilding, Conversion and Repair), vastaa hankkeiden toteutuksen johtamisesta ja valvonnasta keskeisillä siviilitelakoilla. Sen palveluksessa on yli 1000 henkilöä [79].



SEA21 ja PEO Ships muodostavat yhdessä Team Ships -organisaation, jonka tehtävä on pinta-alusten elinjaksonhallinta sanataarkasti käännettynä ”kehdestä hautaan”. Se on siis keskeinen organisaatio koko pintataistelualusten elinjakson ajalle. Team Ships -organisaatiossa työskentelee noin 500 henkilöä. [80]



Kuva 8. NAVSEA:n organisaatio vuonna 2010 [78] ja sen keskeisiä pintataistelualusten tutkimukseen, kehittämiseen ja hankintaan liittyviä organisaatioita (ympyröity mustalla).

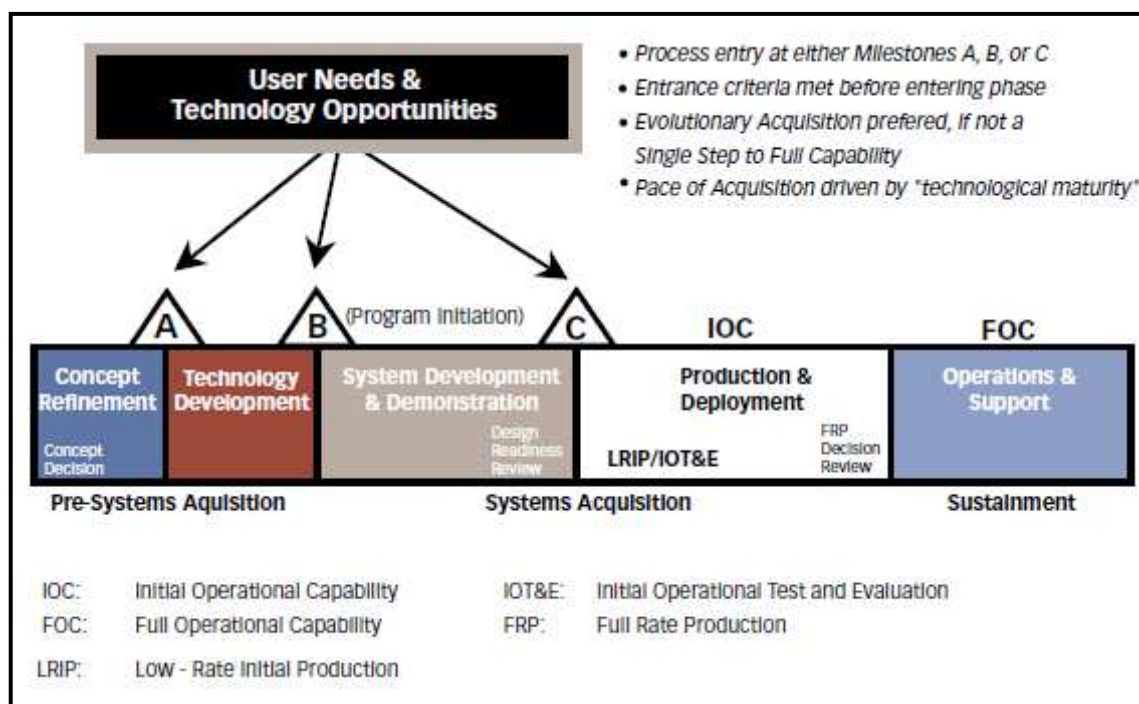
Laivastoministeriön tavoitteena on ollut parantaa prosesseja ja kaupallisia toimintatapoja, jolloin saatuja säästöjä voitaisiin käyttää Naval Transform:n toteuttamiseen [105]. Tähän liittyen, osana Sea Power 21:n toteuttamista, luotiin laivaston varakomentajan (VCNO, Vice Commander of Naval Operations) johtama Sea Enterprise -ohjelma. Ohjelmaan osallistuvat laivaston esikunta, SYSCOM:t järjestelmien kehittäjinä ja hankkijoina sekä operatiivinen laivasto (Fleet) sodankäyntiin liittyvien vaatimusten alkulähteinä. Sea Enterprise-ohjelman tarkoituksena on ollut vähentää kiinteitä kustannuksia, virtaviivaistaa prosesseja sekä kasvattaa organisaation sisäistä koordinaatiota, jalostaa vaatimuksia ja hankkia järjestelmiä jotka mahdollistavat laivaston muutokset. [122]

Kaikki Yhdysvaltojen laivaston risteilijät, hävittäjät ja fregatit on rakennettu vuodesta 1985 alkaen kahdella telakalla: General Dynamics:n Bath Iron Works:n (GD/BIW) telakalla Mai-

nen osavaltiossa ja Northrop Grumman:n (NG) Ingalls:n telakka Mississippin osavaltiossa. Pintataistelualukset huolletaan, korjataan ja modernisoidaan kahden edellä mainitun telakan lisäksi muilla yksityisillä telakoilla sekä NAVSEA:n alaisilla laivaston telakoilla. Lockheed Martin (Aegis-taistelunjohtojärjestelmä) ja Raytheon ovat johtavia pintataistelualusten taistelujärjestelmäintegraattoreita ja tutkavalmistajia. Myös Northrop Grumman on potentiaalinen tutkavalmistaja. Lisäksi taistelualuksiin liittyvään teollisuuteen kuuluu satoja muita materiaaleja ja komponentteja toimittavia yrityksiä. [111]

### 3.2.3 Hankintamalli

Seuraavassa kuvassa on Yhdysvaltojen puolustusministeriön hankintamalli (DoDI 5000.2) vuodelta 2006 (Kuva 9). Mallin päävaiheet ovat esihankintavaihe (Pre-System Aquisition), hankintavaihe (Acquisition) ja ylläpitovaihe (Sustainment). Mallin ”porteilla” eli Milestone A:lla, B:llä ja C:llä on kriteerit, joiden saavuttamisen jälkeen voidaan siirtyä hankkeen seuraavaan vaiheeseen. [122]



Kuva 9. Yhdysvaltojen puolustusministeriön hankintamalli DoDI 5000.2 vuodelta 2006 [122].

Konseptien tutkimus ja teknologioiden kehittäminen muodostavat esihankintavaiheen (Pre-Systems Aquisition). Konseptien tutkimus sisältää lyhyenaikavälin tutkimuksia joissa pyritään jalostamaan ja arvioimaan vaihtoehtoisia ratkaisuja alustavaksi konseptiksi sekä tarjoamaan lähtökohdan vaihtoehtojen vertailulle. Teknologioiden kehittäminen on iteratiivinen

prosessi, jossa arvioidaan teknisten ratkaisujen toteuttamiskelpoisuutta ja samalla jalostetaan käyttäjien vaatimuksia. Tavoitteena on teknisten riskien minimointi. [122]

Järjestelmien kehittäminen ja demonstrointi on varsinainen järjestelmän kehittämisvaihe. Tähän vaiheeseen sisältyy integrointi- ja tuotantoriskien minimointi. Vaihe päättyy järjestelmäintegraation, yhteensopivuuden ja käyttökelpoisuuden toiminnalliseen todentamiseen eli demonstrointiin. Tuotanto- ja käyttöönottovaiheeseen sisältyy valmistuksen lisäksi järjestelmän käyttöön liittyvät kokeet ja arvioinnit järjestelmän tehokkuuden, sopivuuden ja selviytymiskyvyn määrittämiseksi. Viimeinen vaihe on järjestelmän ylläpito operointivaiheessa täyden operatiivisen suorituskyvyn saavuttamiseksi. [122]

Järjestelmien kehittämiseen ja demonstrointiin liittyy vaihtoehtoinen kehittämismalli, jota kutsutaan nimellä Evolutionary acquisition with spiral development (EA/SD). Sen tarkoituksena on nopeuttaa uusien suorituskyykyjen käyttöönottoa, hyödyntää käyttäjien palautetta ja lostettaessa järjestelmän vaatimuksia ja kehitettäessä parannuksia suorituskyykyyn, vähentää teknisiä riskejä hankkeissa joissa sovelletaan uusia teknisiä ratkaisuja sekä helpottaa pysymistä mukana teknisessä kehityksessä. EA/SD:n perusajatus on ensivaiheessa kehittää nopeasti alustava versio järjestelmästä. Tähän on tarkoitus päästä täyttämällä aluksi vain osa vaatimuksista (esimerkiksi 50 % tai 60 %). Näin kehitetyn järjestelmän käyttökokemuksia hyödynnetään järjestelmän seuraavissa versioissa tai järjestelmän osissa, jotka täyttävät hieman suuremman osan vaatimuksia. Näin jatketaan kunnes järjestelmä täyttää kaikki asetetut vaatimukset. [113]

Sovellettaessa EA/SD-lähestymistapaa järjestelmän lopullinen suorituskyyky voi määräytyä kahdella eri tavalla. Hankeissa, joissa eri osa-alueiden tekniset ratkaisut ovat tunnettuja, suorituskyyky voidaan määrittää jo hankkeen alussa. Toisaalta hankkeissa, joissa eri osa-alueiden tekniset ratkaisut määräytyvät teknisen kehittämisen aikana saavuttavien tulosten tai hankkeen aikana kehittyvien käyttäjien vaatimusten perusteella, suorituskyykyvaatimukset määräytyvät hankkeen edetessä. Hyvistä tavoitteista huolimatta EA/SD:n soveltamisen on arvioitu aiheuttavan merkittävä epävarmuutta laajoissa järjestelmähankeissa suunnitteluun, lopullisiin kustannuksiin, hankittavien järjestelmien lukumäärään sekä tuotantoaikatauluihin.

## 4 DDG-1000- JA LITTORAL COMBAT SHIP -HANKKEET

Tässä pääluvussa pyritään selvittämään sekä uusien alusten että aiempien alusten tehtäviä ja niiden taustoja sekä selvittämään käynnissä olevien hankkeiden toteutusta ja tunnistamaan niihin vaikuttaneita tekijöitä. Tarkoituksena on, että hankkeiden tarkastelulla myöhempi laiva-tekniinen tarkastelu saadaan liitettyä osaksi hankekokonaisuutta. Myös alusten taistelujärjestelmiä käsitellään osana hankkeita.

### 4.1 DD(X)- eli DDG-1000-hanke

#### 4.1.1 Taustalla DD-21

DDG-1000-hankkeen taustalla on vuonna 1994 käynnistetty DD-21-hanke. DD-21:n oli tarkoitus olla ensimmäinen SC-21 (Surface Combatant for 21st Century) -alusperheen aluksista ja sen piti korvata DD-963 *Spruance* -luokan ja FFG-7 *Oliver Hazard Perry* -luokan alukset. Tässä yhteydessä on syytä mainita, että myöhemmin käsiteltävä LCS ei ollut osa alkuperistä SC-21-alusperhettä. Sen sijaan siihen oli suunniteltu kuuluvaksi DD-21:en perustuva risteilijä CG-21 (nykyisen ohjusristeilijä CG-47 *Ticonderoga* -luokan suunniteltu korvaaja) sekä niin kutsuttu Arsenal Ship. [106]

Erikoisena yksityiskohtana, ja esimerkkinä yhden henkilön vaikutuksesta valintoihin on edellä mainittu Arsenal Ship. Arsenal Ship:n ainoa tehtävä olisi ollut tuli-iskut maa-alueelle. Sen uppouman oli tarkoitus olla noin 30000 tonnia ja sen ainoa asejärjestelmä olisi ollut 512 ohjuksen pystylaukaisujärjestelmä. Alus olisi ollut rakenteeltaan yksinkertainen ja siinä olisi ollut vain 50 henkilön miehistö. Aluksen ei uskottu vastaavan tulevaisuuden vaatimuksia, mutta laivaston silloinen komentaja (CNO, Chief of Naval Operations) amiraali Jeremy Boorda Jr. piti kyseisestä konseptista ja valitsi sen kehittäväksi kohteeksi. Amiraali Boordan toimikauden jälkeen vuonna 1996 kiinnostus Arsenal Ship:in romahti eikä aluksen kehittämistä jatkettu. [27, 106]

SC-21-alusperhehanke perustui laivaston komentajan vuonna 1992 tilaamaan tutkimukseen a Twenty-First Century Technology Study. Tämän tutkimuksen keskeinen laivaan kohdistuva tulos oli, että erityisesti häiveominaisuuksien vuoksi tarvittiin täysin uutta aluksen muotoilua. Häivevaatimuksesta muodostuikin keskeinen DD-21-laivan design driver eli suunnittelua ohjaava tekijä. [27, 28]

Häivevaatimuksella oli tämän tutkimuksen aiheen kannalta mielenkiintoinen sivuvaikutus. NAVSEA, joka oli perustettu 1979, yhdisti laivastoministeriön alaisuudessa itsenäisenä toimistoina toimineet ja varsin erilaiset runko- ja koneistosuunnittelijoiden Bureau of Ships:n (BuShips) sekä taistelujärjestelmän kehittäjien Bureau of Ordnance:n (BuOrd). 70-luvun lopulla alkaen oli vallallaan näkemys, jonka mukaan kehityksen painopiste oli taistelujärjestelmässä ja laivatekniikan kehittämiseen ei juurikaan panostettaisi. Laivatekniikka siis ajautui sivuraiteelle eikä sen tuottamia kehitysajatuksia noteerattu. Vasta häivevaatimus ja siitä johduneet laivan rungon ja koneiston kehittämistarpeet nostivat laivatekniikan tärkeäksi osaksi alueeksi taistelualusten kehittämisessä. [27]

DD-21:n oli tarkoitus olla monikäyttöinen alus, jonka keskeiset tehtävät olivat merenherruus (sukellusveneentorjunta, pintatorjunta ja miinantorjunta) sekä iskut maa-alueelle. Sukellusveneentorjuntatehtävän perustana oli *Spruance*-luokan ja *Oliver Hazard Perry* -luokan korvaaminen. Iskukyky maa-alueelle liittyi suurikaliiberisen laivatykistön korvaamiseen, joka oli poistunut käytöstä *Iowa*-luokan taistelulaivojen myötä vuosina 1990...1992. [106]

Vastoin aiempia käytäntöjä DD-21:n osalta ei tehty alkusuunnittelua vaatimusten kustannusvaikutusten testaamiseksi. Yksittäiset vaatimukset perusteltiin niiden vaikuttavuuden kautta, esimerkiksi aluksen häiveominaisuuksien tuli pienentää aluksen havaittavuutta tietyn määrän, mutta vaatimusten vaikutusta kokonaisuuteen ei voitu saada selville ilman alkusuunnittelua. Laivasto asetti henkilöstömäärätavoitteeksi 95 henkeä. DD-21 olikin ensimmäinen alus jonka yksi keskeinen kriteeri oli henkilöstömäärä. Laivasto määritteli osan laivaan sijoitettavista järjestelmistä. Näitä olivat muun muassa tutkat, kaikumittaimet, kaksi 155 mm tykkiä ja pystylaukaisujärjestelmästä laukaistavat ohjukset. Tutkien tuli perustua häiveominaisuuksien vuoksi vaiheohjattuihin kiinteisiin antenneihin. Laivasto asetti myös laivasuunnitteluun reunaehdoja, esimerkiksi laivassa tuli olla täysin sähköinen koneisto. Suunnitteluun annettiin kuitenkin merkittävästi vapautta, esimerkiksi pystylaukaisujärjestelmän ei tarvinnut olla laivaston käyttämä Mk 41 -järjestelmä. [27]

Vaikka laivaston laivasuunnittelu ja taistelujärjestelmien kehittäminen olivat samassa organisaatiossa, NAVSEA:ssa, oli laivastoministeriössä vallalla näkemys, jonka mukaan ne eivät olleet saumattomassa yhteistyössä. Laivastoministeriö toivoi, että laiva ja sen taistelujärjestelmä voitaisiin integroida huomattavasti tehokkaammin ja tiiviimmin. Toisaalta kilpailu suuren tilauksen voittamisesta voisi tuottaa kehittyneitä ratkaisuja NAVSEA:n enemmän konservatiivisten ratkaisujen sijaan. Muun muassa näiden syiden vuoksi laivastoministeriö kehotti

teollisuutta muodostamaan ainakin kaksi kilpailevaa tiimiä, joita johtaisivat järjestelmäintegraattori ja telakka. [27]

DD-21-hankkeesta kilpaili vuodesta 1998 alkaen kaksi konsortiota. Blue Team:n muodostivat General Dynamics:n Bath Iron Works:n telakka laivanrakentajana sekä Lockheed Martin taistelujärjestelmän suunnittelijana ja integraattorina. Gold Team:n muodostivat Northrop Grumman:n Ingalls:n telakka laivanrakentajana sekä Raytheon taistelujärjestelmän suunnittelijana ja integraattorina. Telakat itse asiassa kilpailivat siitä, kumpi toimii alusluokan suunnittelijana ja elinjaksotukena. Tarkoitus oli, että molemmat telakat rakentaisivat suunnilleen saman määrän aluksia. Tarjouskilpailun aikana tuli ilmi, että vaatimukset johtivat oletetusta noin 9000 tonnin aluksesta noin 16000 tonnin alukseen, joka tarkoitti huomattavasti oletettua suurempia kustannuksia. Myös useiden uusien teknisten ratkaisujen toimivuus aiheutti epävarmuutta. Itse asiassa laivasto ei edes suoraan ilmaissut, tarvitseeko se kyseistä alusta. Näiden syiden vuoksi DD-21-hanke päätettiin lopettaa vuonna 2001 ja korvata DD(X)-hankkeella. [106]

#### 4.1.2 DDG-1000-hankkeen vaatimukset

Vuoden 2001 marraskuussa julkaistun DD(X)-hankkeen eli tulevaisuuden pintataistelualushankkeen (Surface Combatant Program) päämääränä oli kolme alustyyppiä sisältävän alusperheen kehittäminen ja hankkiminen [106]. Nämä alustyytit olivat:

- Hävittäjä DD(X): pitkän kantaman iskukyky ja tulituki.
- Risteilijä CG(X): ohjuspuolustus ja ilmatorjunta.
- Pieni taistelualus Littoral Combat Ship: sukellusveneiden, hyökkäysveneiden ja miinojen torjunta rannikon läheisyydellä olevilla taistelualueilla.

Tässä yhteydessä on hyvä huomata, että koko alusperhehankkeesta sekä yhdestä sen aluksesta käytettiin lyhennettä DD(X). Hävittäjä DD(X):n, joka oli siis DD-21:n seuraaja ja josta tuli huhtikuussa 2006 DDG-1000, keskeisiä vaatimuksia olivat [106]:

- Aluksen tuli olla monitoimihävittäjä painottuen tykistön maa-ammunta kykyyn, joka oli menetetty *Iowa*-luokan taistelulaivojen poistumisen myötä.
- Aluksen henkilöstömäärän tuli olla pienempi kuin käytössä olevissa pintataistelualuksissa käyttökustannusten pienentämiseksi. Arvio henkilöstä oli 125...175.
- Aluksella tuli olla havaittavuutta oleellisesti pienentävä runkomuoto, pysty-laukaisujärjestelmä, kaksi AGS (Advanced Gun System) -tykkiä, sukellusveneentorjuntakyky ja mahdollisesti miinantorjuntakyky, kohtalainen ilmatorjuntakyky,

hangaari helikopterille ja muutamalle miehittämättömälle ilma-alukselle (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) ja integroitu sähköinen koneisto.

Laivaston nykyisen, vuoden 2010 kuvauksen mukaan DDG-1000 on räätälöity iskuihin maa-alueelle sekä rannikkomerien hallintaan [102]. Aluksen vaatimusten perustana ovat jo vuonna 1994 julkaistut DD-21:n alkuperäiset vaatimukset (MNS, Mission Need Statement). Vaatimusten ajantasaisuus on aiheuttanutkin kysymyksiä, etenkin terrorismin vastaisesta sodasta ja Naval Transformation:sta johtuvien tekijöiden vuoksi. Näitä tekijöitä ovat muun muassa täsmäaseiden ja miehittämättömien laitteiden käyttö sekä vaikutusperusteiset operaatiot. Myös aluksen keskeisen alkuperäisen tehtävän, laivatykistön tulituen, tarpeellisuus on kyseenalaistettu.

Toisaalta alkuperäisen DD-21:n oli tarkoitus korvata DD-963 *Spruance* -luokan ja FFG-7 *Oliver Hazard Perry* -luokan alukset, mikä vaikutti DD-21:n suunniteltuihin tehtäviin. Uuteen DD(X)-alusperheeseen sisältyi kuitenkin LCS, jonka yhtenä tehtävänä oli sukellusveneentorjunta, tehtävä jota DD-963 ja FFG-7 olivat hoitaneet. Jos tulitukitehtävä oli kriittistä huolimatta tarpeellinen, niin tulisiko muihin tehtäviin, esimerkiksi sukellusveneentorjuntaan, liittyviä vaatimuksia lieventää? Kriittikää aiheutti myös se, että kustannustehokkuuteen liittyvä tutkimus (Cost and Operational Effectiveness Study) oli tehty vuosina 1995...1997, jolloin esimerkiksi verkostokeskeiseen sodankäyntiin liittyvää järjestelmien järjestelmää ja siihen liittyen LCS:n suorituskykyä ei oltu huomioitu [106]. Lähteen [28] mukaan DD(X):n vaatimusten hyväksymisen yhteydessä Yhdysvaltojen puolustusministeriö (ei siis laivasto) teki päätöksen, ettei konseptisuunnittelu tehtäisi, vaikka se oli aiemmin koettu hyödylliseksi osoittamaan vaatimusten vaikutukset.

Yhdysvaltalaisen analyytikon Norman Friedman:n mukaan alkuperäinen DD(X)-konsepti oli 1990-luvun puolivälissä saatu ”myytyä” perustuen analyysiin, jonka mukaan raskaasti aseistettulla taistelualuksella olisi merkittävä rooli Korea-skenaariossa. Kyseisessä skenaariossa aluksen tuli päästä huomaamattomasti lähelle vastustajan rannikkoa, ja sieltä vaikuttaa aseillaan valittuihin kohteisiin. Friedman on kyseenalaistanut pitkälle viedyn häivevaatimuksen mielekkyyden. Hänen keskeisiä argumenttejaan on pitkän aallonpituuden omaavien HF (High Frequency) -tutkien kehittyminen. Niillä voitaneen havaita lyhyempiä aallonpituuksia käyttävien tutkien havainto-ominaisuuksien perusteella suunnitellut alukset. Toisaalta alusta ei saada kokonaan näkymättömäksi, sillä häivetekniikka ainoastaan rajoittaa tutkakaikujen havaitsemista. Tämä voi olla kuitenkin merkittävää, esimerkiksi lähteen [51] mukaan häivetekniikan ansiosta DD(X):n tutkakaiku olisi vain kalastajaveneen luokkaa. Friedman mainitsee myös

aluksen rakenteisiin tulevat painaumat ja kolhut, joiden hän epäilee vaikuttavan tutkapoikkipinta-alaan, sekä muut aluksen havaitsemiseen liittyvät tekijät kuten esimerkiksi vanaveden. [28]

Johtuen laivaston jatkuvasta huolesta aluksen kustannuksista, DD(X):n tuli olla pienempi kuin DD-21:n. Tämän saavuttamiseksi pystylaukaisujärjestelmän laukaisupaikkojen lukumäärä laskettiin 128:sta 80:en, samoin AGS:n laukausten lukumäärä laskettiin 750:sta 600:an. Näillä muutoksilla pyrittiin pääsemään noin 14000 tonnin uppoumaan [106]. Hankkeeseen sisältyi lukuisia uusi teknisiä ratkaisuja, joita käsitellään tarkemmin jäljempänä.

#### 4.1.3 DDG-1000-hankkeen toteutuminen

Jo aiemmin mukana olleet konsortiot jatkoivat kilpailua DD(X)-hankkeen suunnittelusta. Laivasto valitsi vuonna 2002 Gold Team:n tekemään laivan ja järjestelmien alkusuunnittelun sekä suunnittelemaan, valmistamaan ja testaamaan useiden keskeisten järjestelmien kehitysmallit (EDM, Engineering Development Models) vuosina 2002...2005. Konsortio laajennettiin National Team:ksi, johon tulivat mukaan Bath Iron Works, Lockheed Martin ja Boeing. Tällä järjestelyllä laivasto halusi varmistaa, että molemmat telakat pystyisivät kilpailemaan ensimmäisen laivan valmistusaineiston laadinnasta ja laivan rakentamisesta FY2005. [106]

Laivaston tavoitteena oli vielä vuonna 2003 hankkia 24 DD(X)-hävittäjää FY2005...FY2017 eli keskimäärin 2 alusta vuodessa. Vuonna 2004 laivasto esitti ensimmäisen aluksen rakentamista FY2007 ja viimeisen FY2012 alusten kokonaismäärän ollessa enää 9. Laivaston arvion mukaan ensimmäinen alus olisi maksanut 2,8 miljardia dollaria, josta 1,8 miljardia dollaria olisi ollut valmistuskustannuksia ja 1,0 miljardia dollari suunnittelukustannuksia sekä kerta-luonteista insinöörityötä. Viides ja kuudes alus olisivat maksaneet laivaston mukaan 1,2...1,4 miljardia dollaria (FY2002) alusta kohti. Kongressin budjettitoimisto (CBO, Congressional Budget Office) oli arvioinut vuonna 2003, että 24 aluksen sarjan aluskohtainen hinta olisi ollut 1,8 miljardia dollaria. [106]

Puolustusministeriö hyväksyi helmikuussa 2004 hankintasuunnitelman, jotka mukaan NG rakentaisi ensimmäisen aluksen ja BIW toisen aluksen. Sarjan kuusi ensimmäistä alusta jaettaisiin kyseisten telakoiden kesken [107]. Alun perin laivaston tarkoitus oli ollut kilpailuttaa ensimmäisen laivan suunnittelu ja rakentaminen, mutta maaliskuussa 2004 laivasto ilmoitti tekevänsä sopimuksen NG:n suunnittelun perusteella [106].



Tilanne muuttui kuitenkin nopeasti, sillä helmikuussa 2005 laivasto ilmaisi halunsa kilpailuttaa kaikkien DDG-1000-alusten rakentamisen [107]. DDG-1000-hankkeen laivanrakennuksen toteuttamistavasta syntyi erimielisyys kongressin ja laivaston välillä. Kongressi painotti laivojen rakentamisen jakamista vähintään kahdelle telakalle, johon vaikutti voimakas huoli telakoiden tulevaisuudesta. Laivasto olisi halunnut ”voittaja saa kaiken”-tyyppisen ratkaisun todellisen kilpailutilanteen luomiseksi. Marraskuussa 2005 DDG-1000:n CDR (Critical Design Review) hyväksyttiin, hanke saavutti Milestone B:n puolustusministeriön hyväksymänä ja hanke siirtyi järjestelmän kehittämis- ja demonstroitivaiheeseen (System Development and Demonstration Phase). Samalla puolustusministeriö hyväksyi laivaston ehdottaman dual-lead-ship-järjestelyn, jossa kahden ensimmäisen laivan rakentaminen jaettiin BIW:n ja NG:n kesken. Tämän järjestelyn tarkoituksena oli, että laivasto näkisi kuinka tehokkaasti telakat pystyvät ”kaksintaistelutilanteessa” rakentamaan laivat ja tämän perusteella päättäisi alusluokan muiden laivojen rakentamisesta [48, 51, 111].

Myös hankkeen toteuttamistapaan tuli muutoksia. Syyskuusta 2005 lähtien laivasto toimi itse eräänlaisena pääintegraattorina tehden erillisiä sopimuksia DDG-1000:n keskeisten toimittajien kanssa. Tämä nähtiin paluuksi vanhaan toimintatapamalliin, mutta samalla huoleksi nousi laivaston henkilöstön ammattitaito hoitaa kyseistä teollisuudelle siirrettyä roolia [107]. National Team purettiin ja laivasto teki esimerkiksi suoraan Raytheonin kanssa sopimuksen taistelujärjestelmän toimittamisesta. Tämän sopimuksen tarkoituksena oli varmistaa, että telakoilla olisi tasaveroiset mahdollisuudet toimia taistelujärjestelmätoimittajan kanssa [48].

Laivasto ilmoitti vuonna 2005, että se ei enää halua tilata DDG-51-aluksia [106]. Koko laivaston osalta tavoitteena oli luoda 313 aluksen laivasto. Risteilijöiden ja hävittäjien määrä oli täsmentynyt seuraavasti: 7 DDG-1000:tta, 19 CG(X):ä ja 62 DDG-51:tä [107]. Laivasto sai kongressilta määrärahan kahden ensimmäisen DDG-1000-laivan tilaamiseen FY2007 alkaen. Tuolloin, vuonna 2006, laivasto arvioi yhden laivan hinnaksi kahden ensimmäisen laivan osalta 3,3 miljardia dollari ja kolmen seuraavan laivan osalta 2,5 miljardia dollaria. Epäilykset laivaston kustannusarvioiden tarkkuudesta olivat kuitenkin heränneet, esimerkiksi vuonna 2005 todellisten kustannusten arvioitiin olevan 20...30 % suuremmat kuin laivaston omat arviot [107].

Heinäkuuhun 2007 asti oletettiin, että NG rakentaa ensimmäisen DDG-1000-laivan ja BIW toisen laivan [110]. NAVSEA julkisti helmikuussa 2008 sarjan kahden ensimmäisen laivan valmistussopimuksen, jonka mukaan BIW rakentaa DDG-1000:n ja NG rakentaa DDG-1001:n. Sopimuksen mukaan BIW valmistaa molempien alusten keulaosan jonne

155 mm tykit sijoitetaan. Vastaavasti NG valmistaa molempien alusten kansirakennukset. Sopimus oli jatkoa NAVSEA:n syyskuussa 2007 tekemälle päätökselle siirtää ensimmäisen aluksen rakentaminen NG:lta BIW:lle telakoiden töiden tasaamiseksi. NG:lta oli tilattu muun muassa LHA 6 (Amphibious Assault Ships) -maihinnousuhyökkäysalus sekä *San Antonio* -luokan maihinnousukuljetusaluksia (LHD, Amphibious Transport Dock), mutta BIW:lta ei oltu tilattu uusia aluksia. Tässä vaiheessa yhden DDG-1000-laivan hinnaksi arvioitiin 3,3 miljardia dollaria, sisältäen 1,0 miljardi dollaria kertaluonteista suunnittelu- ja insinöörityötä. [24, 108]

Laivaston vuoden 2008 arvion mukaan kaksi ensimmäistä laivaa maksaisivat 3,2 miljardia dollaria ja loput viisi laivaa 2,2 miljardia dollaria. Kongressin budjettitoimisto (CBO) piti tätä arviota alimitoitettuna; sen mukaan kaksi ensimmäistä laivaa maksaisivat 5,0 miljardia dollaria ja loput viisi laivaa 3,6 miljardia dollaria. [108]

Laivasto päätti elokuussa 2008 tilata kolmannen DDG-1000:n. Vielä heinäkuussa 2008 laivasto oli ilmoittanut, että seitsemän aluksen sarja tulisi rajata kahteen alukseen kohonneiden kustannusten vuoksi [87]. Alusten lukumäärän laskettua kolmeen alukseen puolustusministeriö arvioi, että DDG-1000-hankkeen kustannukset olivat kohonneet 89 % kolmessa vuodessa 6 miljardiin dollariin alukselta [88]. FY1995 ja FY2009 välillä DD-21/DD(X)/DDG-1000-hankkeille oli myönnetty määrärahoja 15,4 miljardia dollaria, joista 7,4 miljardia oli käytetty tutkimukseen ja kehittämiseen sekä 8,0 miljardia tuotantoon [110].

DDG-1000-hankkeen perusta oli alkanut murentua laivaston heinäkuussa 2008 antamaan kirjalliseen lausuntoon [110] edustajainhuoneen merivoimia koskevan alakomitean (Seapower and Expeditionary Forces subcommittee of the House Armed Services Committee) hävittäjä-tuotantoon liittyvässä kuulemisessa. Laivaston lausunnon mukaan aiemmin vain rannikon läheisyydessä toimineet valtiot ja ryhmittymät olivat kehittäneet pintatorjuntaohjuksia ja ballistisia ohjuksia sekä kykyä valtamerillä tapahtuviin sukellusveneoperaatioihin. Tämän vuoksi Yhdysvaltojen laivaston tulisi kehittää valtamerisukellusveneentorjuntaa ja ballististen ohjusten torjuntakykyä (BMD, Ballistic Missile Defence). DDG-1000:n tutkat ja kaikumittain oli suunniteltu toimimaan rannikkomeriolosuhteissa eikä se kyennyt alueilmatorjuntaan, koska se ei voinut käyttää Standard Missile (SM-2) -ilmatorjuntaohjuksia eikä sen uudempia versioita. Sen tykit mahdollistivat tulituen rannikon läheisyydessä, mutta nopean kehityksen myötä vastaava suorituskyky oli saavutettu jo taktisella ilmatuella ja merijalkaväen omalla tulella. Toisaalta DDG-51 oli koeteltu ratkaisuksi. Se olisi laivaston tehokkain alus ballististen ohjusten torjuntaan, joten se tarjoaisi paremman sillan siirryttäessä kohti seuraavan sukupolven risteili-

jää. DDG-51:n kaikumittain oli tehokkaampi valtameriolosuhteissa kuin DDG-1000:n kaikumittain. Myös DDG-51:n valmistuskustannukset tunnettiin, joten riskit sen rakentamisessa olivat pienemmät kuin DDG-1000:lla. Näiden syiden perusteella laivasto esitti DDG-51:n tuotannon uudelleen aloittamista mieluummin kuin DDG-1000-hankkeen jatkamista.

Jo maaliskuussa 2008 eräät kongressin jäsenet olivat ilmoittaneet harkitsevansa vaihtoehtoja, jossa DDG-1000-luokan aluksien sijaan rakennettaisiin lisää DDG-51-luokan aluksia [108]. Edustajainhuoneen merivoima-alakomitean (Seapower Subcommittee) puheenjohtajan helmikuussa 2009 antaman julkilausuman mukaan laivanrakennusvaroja ei tule käyttää DDG-1000:n uudelleen suunnittelemiseksi ballististen ohjusten torjunta-alukseksi, koska edullisempi DDG-51 oli jo olemassa siihen tehtävään [88].

Ihmetystä herätti laivaston uhkakuvien nopea muutos noin kahden vuoden aikana sekä vuosikausia kestäneen laivatykistön tulituen tarpeellisuuden todistelun (esimerkiksi lausunnot [51]) vaihtuminen ilmoitukseen riittävästä suorituskyvystä kyseisellä alueella. Yllätyksenä tuli myös laivaston ilmoitus, että DDG-1000:lla ei olisi alueilmatorjuntakykyä. Laivaston esittelymateriaalissa Standard Missile oli ilmoitettu yhdeksi aluksen aseeksi vuosina 2002...2008. Toisaalta, kuten jo tämän tutkimuksen alustyyppejä käsittelevässä osuudessa todettiin, kirjain ”G” aluksen tyyppimerkinnässä tarkoittaa alueilmatorjuntakykyä. Yhdysvalloissa se tarkoittaa käytännössä kykyä ampua Standard Missile (SM) -ohjuksia. Alukset, jotka kykenevät ampumaan vain lyhyemmän kantaman ohjuksia, kuten Enhanced Sea Sparrow Missile (ESSM) - tai Rolling Airframe Missile (RAM) -ohjuksia, luokitellaan ainoastaan kohdetorjuntaan tai omasuojaan kykeneviksi aluksiksi. Tämän mukaan DDG-1000:n tyyppimerkinnän pitäisi olla DD-1000. [109]

Eräiden tietojen mukaan SM-2 voidaan sijoittaa DDG-1000:n pystylaukaisualustaan ja ohjus kyetään laukaisemaan, mutta DDG-1000 ei pysty ohjaamaan ohjusta laukaisun jälkeen, ja tämän vuoksi DDG-1000:lla ei ole alueilmatorjuntakykyä [109]. Tiedot DDG-1000:n alueilmatorjuntakyvystä ovat olleet edelleen ristiriitaisia, esimerkiksi lokakuussa 2010 US Navyn internetsivuilla SM mainitaan edelleen yhdeksi DDG-1000:n käyttämäksi ohjukseksi [102].

Huhtikuussa 2009, liittyen FY2010 puolustusmäärärahoihin, puolustusministeri Robert Gates päätti lopettaa DDG-1000-hankkeen kolmeen alukseen ja aloittaa uudelleen DDG-51-alusten tuotannon [109]. Päätös siis tuki laivaston heinäkuussa 2008 tekemää esitystä asiasta. DDG-1000-hankkeen rahoitus oli jatkossa tarkoitus suunnata uudelleen aloitettavaan DDG-51-tuotantoon [88]. DDG-1000-hankintojen lopettamispäätöksen yhteydessä laivasto

teki telakoiden kanssa sopimuksen, jonka mukaan BIW rakentaa kaikki kolme DDG-1000-alusta [109]. NG rakentaa aluksiin kuitenkin aiemmin suunnitellusti kansirakennukset [109]. Vuonna 2009 laivasto arvioi kahden ensimmäisen laivan hinnaksi 3,3 miljardia dollaria ja kolmannen laivan hinnaksi 2,7 miljardia dollaria. Samalla arvioitiin uudelleen aloitettavan DDG-51:n ensimmäisen laivan maksavan 2,2 miljardia dollaria [109] ja sitä seuraavien alusten noin 1,8 miljardia dollaria [110].

Helmikuussa 2010 laivasto ilmoitti, että DDG-1000-hankkeen kustannukset ovat ylittäneet niin kutsutun *Nunn-McCurdy*-ehdon. Ehdon mukaisia kustannuksia seurataan kahdella parametrilla. PAUC (Program Acquisition Unit Cost) on tutkimus-, kehittämis- ja valmistuskustannukset sisältävä yksikköhinta (hankkeen aluskohtainen keskiarvohinta) ja APUC (Average Program Unit Cost) on vain tuotantokustannukset sisältävä yksikköhinta. DDG-1000-hanke ylitti PAUC:n, joka johtui laivaston mukaan sarjan rajaamisesta kolmeen alukseen seitsemän sijasta. Hankkeen suunnittelu- ja kehittämiskustannukset olivat tuolloin 9,3 miljardia dollaria, jolloin yhden aluksen osuus näistä kustannuksista oli 3,1 miljardia dollaria. Toukokuussa 2010 puolustusministeriön tekemän laskelman mukaan DDG-1000-hankkeen PAUC oli 7,4 miljardia dollaria, joka siis on yhden laivan kokonaishinta tutkimus- ja kehittämiskuluihin, sekä APUC 4,3 miljardia dollaria, joka sisältää siis yhden laivan pelkät valmistuskustannukset. *Nunn-McCurdy*-ehtorikkomuksen vuoksi hanke joutuu hakemaan uudelleen hyväksynnän Milestone B:lle sekä luvan kolmannen aluksen valmistuksen aloittamiselle. Hankkeeseen on tehty myös uudelleenjärjestelyjä, esimerkiksi IOC (Initial Operational Capability) saavuttaminen siirrettiin vuoden 2015 sijasta vuoteen 2016. [111]

Edellä esitetystä voidaan todeta, että DDG-1000-hanke on pitkän historiansa aikana sisältänyt lukuisia eri vaiheita ja muutoksia. Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 2) on koottu joitain keskeisiä DDG-1000-hankkeeseen liittyviä tapahtumia.

Taulukko 2. DDG-1000-hankkeen keskeisiä tapahtumia.

1992	A Twenty-First Century Technology Study.
1994	DD-21-hanke osana SC-21-alusperhettä alkaa.
1995 1997	Kustannustehokkuustutkimus.
1998	Kilpailu alkusuunnittelusta alkaa.
2001	DD-21 lopetetaan ja korvataan DD(X)-hankkeella (LCS mukaan).
2002	Gold Team voittaa suunnittelukilpailun, laajennetaan National Team:ksi. Alkusuunnittelu ja järjestelmien kehitysmallit.
2003	Tavoite 24 alusta.
2004	Tavoite 9 alusta.
2005	Siirtyminen järjestelmän kehitys- ja demonstroitivaiheeseen. Laivasto alkaa toimimaan pääintegraattorina, National Team puretaan.
2006	Määräraha kahden ensimmäisen aluksen tilaamiseen, yhteensä 7 alusta. Luokan nimeksi DDG-1000.
2008	Kolmannen aluksen tilaaminen. Laivaston esitys DDG-1000:n korvaamisesta jatkossa DDG-51:llä.
2009	DDG-1000-hankinnat rajataan vain kolmeen alukseen, DDG-51 uudelleen tuotantoon. BIW rakentaa kaikki DDG-1000-laivat, ensimmäisen laivan rakentaminen alkaa.
2016	Arvio ensimmäisen DDG-1000-aluksen operatiivisesta valmiudesta.

Vuonna 2010 laivasto esitti FY2010 tilatun DDG-51:n lisäksi kahden aluksen tilaamista FY2011 sekä kuuden aluksen tilaamista FY2012...FY2015 [111]. FY2011 tilattavien alusten kustannusarvio oli laivaston mukaan 1,8 miljardia dollaria alusta kohti. Samalla laivasto esitti CG(X)-risteilijähankkeen perumista ja sen sijaan DDG-51:n uuden version, Flight III:n, hankintojen aloittamista vuonna 2016. Tämän ratkaisun taustalla oli laivaston huoli CG(X):n korkeista kustannuksista sekä epäkypsästä teknologiasta. Laivaston suunnitelmana on hankkia yhteensä 24 DDG-51 Flight III -alusta FY2016...FY2031.

Uuden suunnitelman perustaksi laivasto teki laiva/tutka-tutkimuksen, jossa selvitettiin DDG-51:n ja DDG-1000:n sopivuutta suunnitellulle tutkajärjestelmälle. Järjestelmä koostui S-taajuusalueen tutkasta (AMDR, Air and Missile Defence Radar tai Advanced Missile Defence Radar) ja X-taajuusalueen SPY-3-tutkasta. Molemmat laivat todettiin sopiviksi järjestelmälle, mutta DDG-51 oli kustannustehokkaampi vaihtoehto. Uusi tutkajärjestelmä oli kooltaan pienempi ja alempi tehoisempi kuin CG(X):en oli alun perin suunniteltu. Laivaston mukaan uudet avaruussijoitteiset sensorit lisäävät kokonaisuudessaan valvonta- ja mittauskykyä siten, että alukseen sijoitettavan järjestelmän ei tarvitse olla alkuperäisen tehoinen ja silti alus kykenee ohjustorjuntatehtävään. Alusten tarkemman suunnittelun on tarkoitus alkaa

FY2012 tai FY2013. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä viimeksi mainittua risteilijähanketta ja sen muutosta tämän tarkemmin. [111]

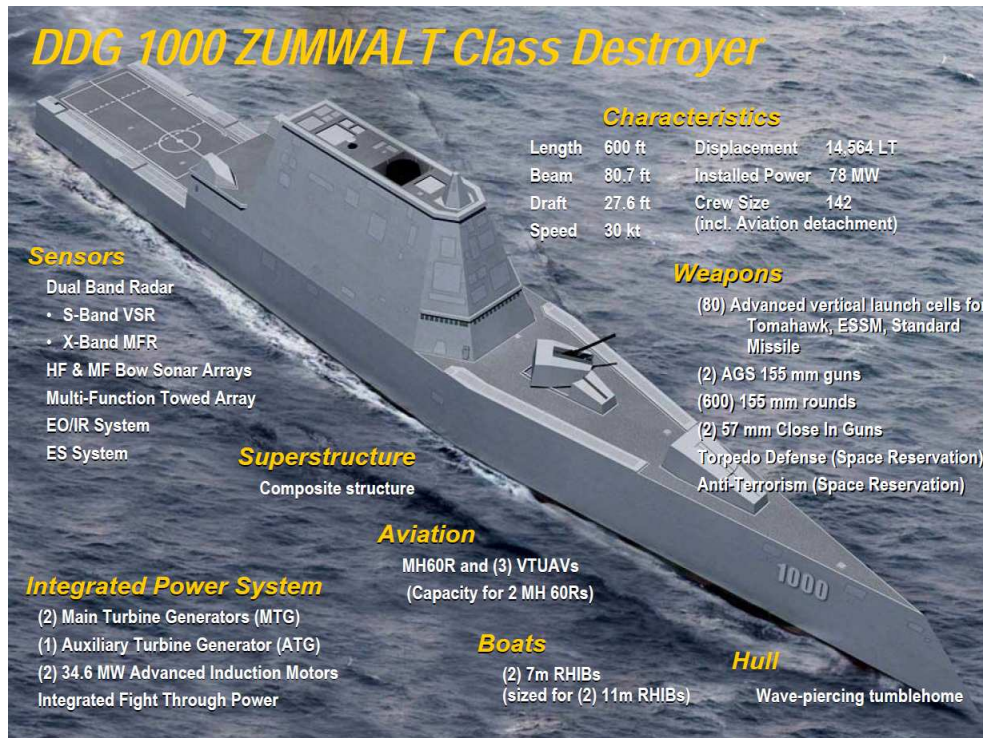
#### 4.1.4 DDG-1000:n järjestelmäkokonaisuus ja tekniset ratkaisut

DDG-1000:n pituus on noin 183 metriä ja sen uppouma on noin 14600 tonnia (yli 50 % suurempi kuin DDG-51:llä) [102]. Aluksen muihin laivateknisiin tietoihin syvennyttään seuraavassa pääluvussa. Alukseen oli suunniteltu 142 hengen miehistö [128].

Alusluokan uusia teknisiä ratkaisuja, joita ei siis ole ollut muissa laivaston aluksissa, olivat [51, 106, 128]:

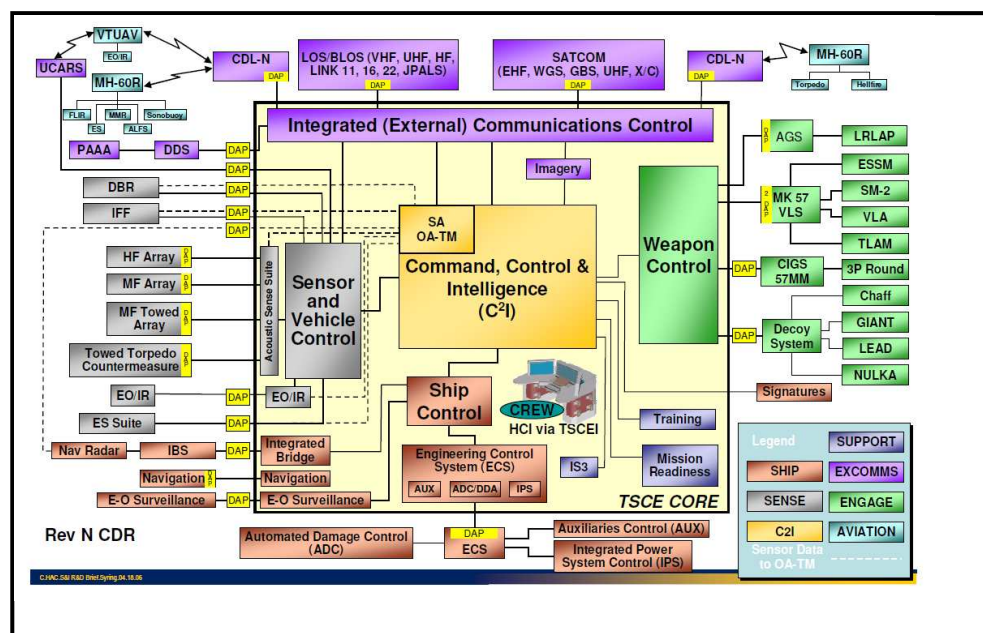
- tumblehome eli ylöspäin kapeneva runkomuoto,
- komposiittirakenteinen kansirakennus (IDHA, Integrated Deckhouse and Appendages) jonka sisään sensorit ja viestivälineet on sijoitettu,
- integroitu sähköjärjestelmä (IPS, Integrated Power System),
- koko aluksen kattava tietojärjestelmä (TSCE, Total Ship Computing Environment Infrastructure),
- kahden taajuusalueen tutka (DBR, Dual-Band Radar),
- 155 mm tykkijärjestelmä (AGS) ja sen pitkän kantaman ampumatarvike (LRLAP, Long Range Land Attack Projectile),
- aluksen laidoille sijoitettava pystylaukaisujärjestelmä (alun perin Peripheral Vertical Launching System, nykyisin Mk 57 VLS)
- integroitu vedenalaisen sodankäynninjärjestelmä (IUWS, Integrated Undersea Warfare System),
- itsenäinen palonsammutusjärjestelmä (AFSS, Autonomic Fire Suppression System) osana henkilöstömäärän pienentämistä ja
- infrapunaherätteen peittämisjärjestelmä (Infrared Mockups).

Aluksen taistelujärjestelmän muita suunniteltuja osia olivat kaksi 57 mm lähitorjuntatykkiä, kaksi MH-60 Seahawk -helikopteria tai vaihtoehtoisesti yksi MH-60-helikopteri ja kolme pyöriväsiipistä miehittämätöntä ilma-alusta (VTUAV, Vertical Take-off Unmanned Aerial Vehicle) sekä kaksi 7 m kovapohjaista kumivenettä (tilavaraus kahdelle 11 m:lle) [51, 106, 128]. Aluksen järjestelmäkokonaisuus on seuraavassa kuvassa (Kuva 10).



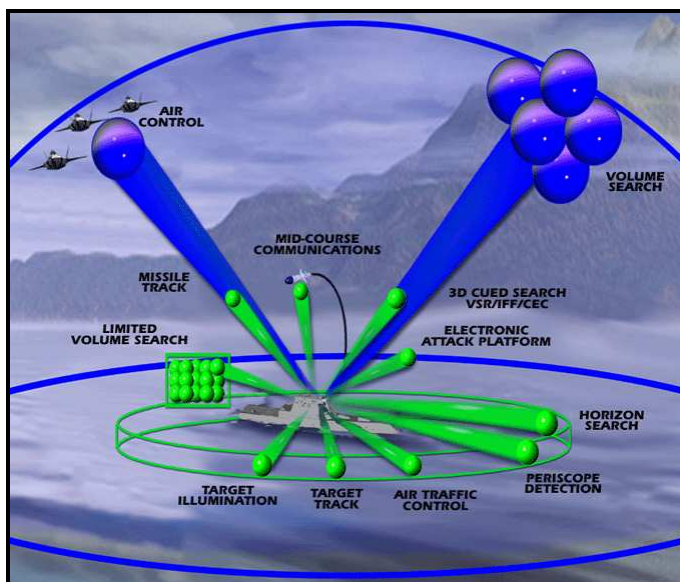
Kuva 10. DDG-1000-luokan järjestelmäkokonaisuus [35].

Aluksen uusista taistelujärjestelmän osista mainittakoon taistelunjohtojärjestelmä, tutkat sekä tykistöjärjestelmä. DDG-1000:n taistelunjohtojärjestelmä on koko laivan kattavan tietojärjestelmän, Total Ship Computing Environment Infrastructure (TSCE), ytimessä. TSCE:n päätoimittaja on Raytheon [110]. Taistelunjohtojärjestelmän ja koko tietojärjestelmän monimutkaisuus havainnollistuu seuraavassa kuvassa (Kuva 11).



Kuva 11. Tietojärjestelmäkokonaisuus [64].

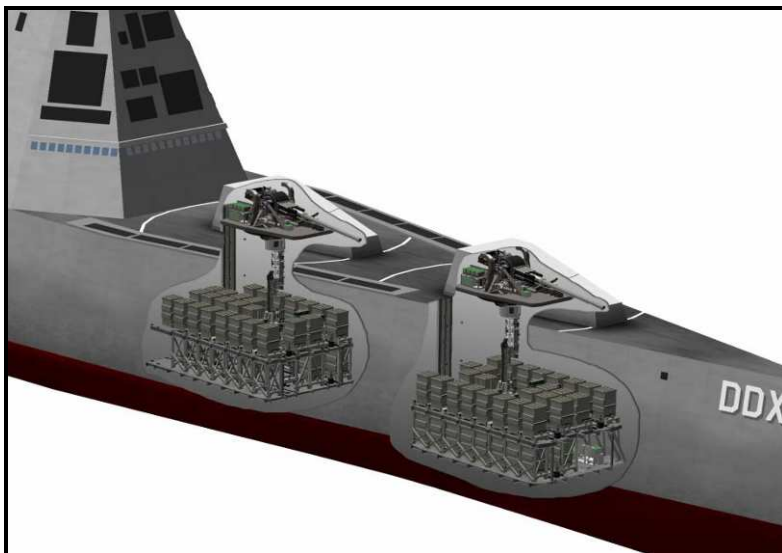
Alun perin alus oli tarkoitettu varustaa uudella kahden taajuusalueen tutkalla (Dual-Band Radar), jonka päätoimittaja oli Raytheon. Tutkan piti koostua Raytheon:n valmistamasta X-taajuusalueen SPY-3-monitoimitutkasta (MFR, Multifunction Radar) sekä Lockheed Martin:n valmistamasta S-taajuusalueen SPY-4-etsintätutkasta (VSR, Volume Search Radar) [111]. X-alueen tutka oli tarkoitettu pintavalvontaan sekä matalalla lentävien kohteiden havaitsemiseen ja S-alueen tutka laajan alueen ilmavalvontaan [51] (Kuva 12).



Kuva 12. Kahden taajuusalueen tutka: X-alue vihreällä ja S-alue sinisellä [117].

Aluksen maa-ammuntakyvyn avainjärjestelmänä on BAE Systems:n kehittämä kahden 155 mm tykin automaattinen tykistöjärjestelmä AGS ja sen uusi ampumatarvike LRLAP, jonka on kehittänyt Lockheed Martin. Viimeisimpien tietojen mukaan järjestelmän kantama olisi 63 mpk eli noin 120 km. Yhden tykin tulinopeuden pitäisi olla 10 laukausta minuutissa. Aluksessa on kaikkiaan 600 laukausta. [51,111]. Seuraavasta kuvasta voi havaita häivevaatimuksen vaikutuksen myös tykkien putket peittävinä muotosuojina (Kuva 13).

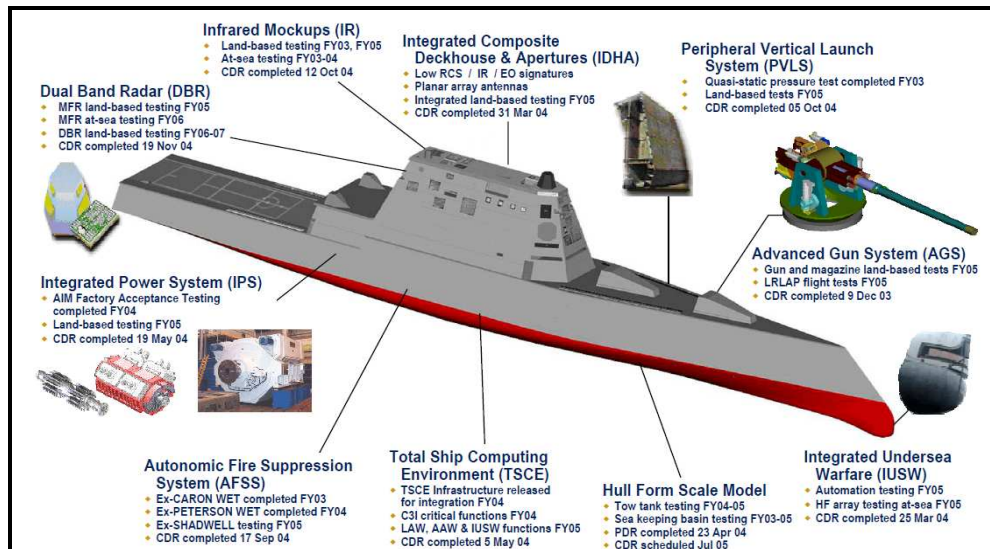




Kuva 13. AGS-tykistöjärjestelmä [47].

DDG-1000-hankkeeseen nähtiin sisältyvän merkittäviä riskejä. Ne johtuivat uusista teknistä ratkaisuista, joiden lukumäärä oli suurin vuosikymmeniin uudessa aluksessa. Näistä riskeistä raportointiin muun muassa CRS:n ja GOA:n (Governmental Accountability) toimesta vuosina 2004 ja 2005 [51, 106].

Laivasto puolustautui riskeihin liittyvää arvostelua vastaan kertoen käyttävänsä riskienhallintaan aiemmin mainittua EA/SD-lähestymistapaa (Alaluku 3.2.3) ja järjestelmien kehitysmallien (Kuva 14) testaamista. GOA raportoi vuonna 2004, että neljän kehitysmallin kehitystyö eteni suunnitelmien mukaisesti. Nämä mallit olivat tietojärjestelmä, pystylaukaisujärjestelmä, runkomuoto ja infrapunaherätteen peittämisjärjestelmä. Neljän muun mallin osalta esiin oli tullut joitain haasteita. Nämä mallit olivat sähköinen koneisto, palonsammutusjärjestelmä, tutkat ja kansirakennus. Integroidun vedenalaisen sodankäynninjärjestelmän ja automaattitykin kehitystyö eteni suunnitelmien mukaisesti, mutta niitä ei demonstroitaisi ennen asennusta ensimmäiseen alukseen. Ainoastaan runkomuodolle ja sähköiselle koneistolle oli olemassa ”perääntymisvaihtoehto”. [106]



Kuva 14. Kehitysmallit [117].

Laivasto sai yleensä kriittisesti suhtautuvalta GOA:lta myönteistä palautetta [109] järjestelmän kehitysmallien käyttämisestä uuden tekniikan tuomien riskien minimointiin.

DDG-1000:n CDR hyväksymiseen liittyen vuonna 2005 laivasto ja NG raportoivat eri kehitysmallille tehdyistä kokeista. Tuolloin ainoastaan koneiston ja tietojärjestelmän osalta annettiin ymmärtää olevan joitain haasteita. Esimerkiksi DBR:n S-taajuusalueen tutkan osalta todettiin, että siihen liittyvät riskit olivat alhaisia ja se tulitisiin valmistamaan sekä testaamaan myöhemmin vuonna 2006. [51]

Hanke kohtasi kuitenkin merkittäviä teknisiä ongelmia. Vuonna 2008 GOA raportoi, että S-taajuusalueen tutkan ja tietojärjestelmän tekninen kehittäminen olivat edelleen kesken. Uusi tietojärjestelmä oli tärkeä tekijä aluksen henkilömäärän laskemiseksi, joten se koettiin kriittiseksi tekijäksi myös henkilömäärätavoitteen saavuttamiseksi. Toisaalta tutkaa ei voitu asentaa kansirakennukseen sen valmistuksen yhteydessä kuten oli suunniteltu. Laivasto arvioi, että kansirakennus ja pystylaukaisujärjestelmä olisivat täysin valmiita järjestelmädemonstrointiin kesään 2008 mennessä, jolloin ensimmäistä laivaa oli tarkoitus alkaa rakentaa. Kansirakennuksen testauksessa havaittujen ongelmien vuoksi sen valmistusmenetelmää jouduttiin muuttamaan. Koneistojärjestelmää ei pystytty testaamaan ennen niiden toimitusta kahteen ensimmäiseen alukseen, vaan se testattaisiin vasta vuonna 2010 maissa sijaitsevalla testauspaikalla. Koko koneistojärjestelmän testaus voitaneen tehdä aikaisintaan vuonna 2011. [108, 111]

Ensimmäisen laivan rakentaminen alkoi helmikuussa 2009 [128]. Kansirakennuksen valmistus alkoi samanaikaisesti vaikka sen hyväksymistestejä ei oltu edelleenkään tehty. Myös tietojärjestelmän tekninen valmius oli edelleen alhaisella tasolla. [111]. Edellisessä alaluvussa

mainittuun hankkeen uudelleen järjestelyyn liittyen alkuperäisen kahden taajuusalueen tutkan sijasta alukseen tulee vain X-taajuusalueen SPY-3-tutka [111].

S-taajuusalueen SPY-4-tutkan poisjättämisellä pyrittiin säästämään kustannuksia osana *Nunn-MicCurdy*-ehdon uudelleen täyttämistä. Tässä yhteydessä ei mainittu SPY-4-tutkan kehittämisen ongelmista. X-taajuusalueen SPY-3-tutkaa tullaan modifioimaan siten, että sitä voi käyttää myös laajemman alueen valvontatutkana. SPY-3 ei kuitenkaan voi toimia samanaikaisesti pinta- ja aluevalvontatutkana, vaan operaattori joutuu valitsemaan tutkan käyttötavan [111].

Kaikesta edellä esitetystä huolimatta NAVSEA korostaa DDG-1000:n olleen valmiimpi kuin yksikään muu sarjan ensimmäinen alus laivan rakentamisen alkaessa [128]. Aluksen taistelujärjestelmään näyttää kuitenkin liittyvän vielä useita avoimia kysymyksiä ja taistelujärjestelmän suorituskykyä on jouduttu laskemaan tutkien osalta. Integroinnin kannalta keskeisin kysymys on taistelunjohtojärjestelmän ja koko tietojärjestelmän kehityksen onnistuminen.

## 4.2 Littoral Combat Ship - eli LCS-hanke

### 4.2.1 Taustalla Streetfighter

Kuten jo aiemmin todettiin, LCS ei ollut osa alkuperäistä SC-21-hanketta. LCS:n taustalla, ainakin jossain määrin, oli Naval War Collage:n johtajan, vara-amiraali Arthur Cebrowskin esille tuoma ja kommodori Wayne Hughesin tukema Streetfighter-konsepti [27, 106, 115]. Se perustui 1998 aloitettuun tutkimukseen, jonka tavoitteena oli luoda uusi, vahvasti puolustetuilla rannikoilla taistelemaan sopiva aluskonsepti. Vara-amiraali Cebrowski oli myös 1990-luvulla kehittämässä ja julkaisemassa verkostokeskeisen sodankäynnin konseptia [106]. Erään arvion mukaan LCS:n synty ajoittuikin verkostokeskeisen sodankäynnin kukoistukseen, jolloin esimerkiksi nopeutta arvostettiin merkittävästi [135].

Streetfighter:n oli tarkoitus olla edullinen, yhden aluksen osalta jopa rajoitetun suorituskyvyn omaava alus, jonka vaikuttavuus perustui usean aluksen verkottuneeseen toimintaan. Aluksen tehtävänä oli vaikuttaa rannikkojen läheisyydessä, korkean uhkatason tilanteessa, esimerkiksi vastustajan uhkaa aiheuttaviin järjestelmiin kuten meritorjuntaohjusyksiköihin ja dieselkäyttöisiin sukellusveneisiin. Erään näkemyksen mukaan alukselle suunniteltua suurta nopeutta ja sen ”hohdokkuutta” käytettiin hyväksi haettaessa konseptille yleistä hyväksyntää. [27]

Ennen DD(X)-hankkeen aloittamista marraskuussa 2001 laivastolla ei ollut suunnitelmia hankkia LCS:n tyyppisiä pienempiä aluksia [106]. Tässä yhteydessä pienuus on suhteellinen käsite, sillä uppoumaltaan 3000 tonnin pintataistelualus luokitellaan yleisesti fregatiksi (Alaluku 3.1). Vaikka laivasto korostaakin, että LCS ei sama kuin Streetfighter, ovat monet Streetfighter:n yhteydessä esiin nousseet asiat kuten toiminta rannikkomerillä, aluksen pienhäkö koko, suuri nopeus ja riippuvuus miehittämättömistä aluksista mukana myös LCS:ssa [106]. LCS:n on tarkoitus korvata 30 FFG-7 *Oliver Hazard Perry* -luokan fregattia sekä 14 MCM-1 *Avanger* -luokan avomeriraivaajaa ja 12 MHC-51 *Osprey* -luokan rannikkoraivaajaa [135].

#### 4.2.2 LCS-hankkeen vaatimukset

Lähtökohtana LCS:lle oli uuden tyyppisten laivasto-osastojen suuri pintataistelualusten määrällinen tarve. Näiden uusien alusten piti pystyä useisiin eri tehtäviin. Yhden peruslaivan (rungon) standardisoinnista toivottiin muodostuvan kustannuksiltaan edullinen ratkaisu. Yhdysvalloissa oli seurattu 1980-luvulta alkaen mielenkiinnolla tanskalaisten ratkaisua sijoittaa tehtäväkohtainen varustus vaihdettaviin moduuleihin. Modulaarisuuden eli moduuleista koostuvan järjestelmäratkaisun nähtiin vastaavan juuri LCS:n tarpeita. Pisimmälle viedyissä suunnitelmissa vaihdettavat moduulit olisi sijoitettu lähelle operaatioaluetta. Tehtävien vaihtuminen operaation aikana nähtiin mahdolliseksi ja moduulien vaihtamisen vuoksi tarvittiin erittäin suurta siirtymisnopeutta. [27]

Lähteen [106] mukaan LCS:n vaatimusten perustana olivat itse asiassa vanhan SC-21-hankkeen vaatimukset (MNS). Kyseisissä vaatimuksissa ei kuitenkaan oltu analysoitu rannikkomerillä uhasta johtuvia oman toiminnan rajoittumisen ongelmia. Laivaston uudet vaatimukset, jotka liittyivät rannikkomerillä esiintyviin uhkiin, perustuivat vuonna 2001 ja 2002 tehtyihin analyysihin. Vaatimukset julkaistiin helmikuussa 2003 alkusuunnitteluvaatimuksissa (Preliminary Design Interim Requirements Document).

Vaatimusten mukaan:

- LCS on vaihtoehtoisten tehtävien alus tavanomaisia ja epäsymmetrisiä uhkia vastaan rannikon läheisyydessä.
- Järjestelmän avoin arkkitehtuuri ja modulaarisuus mahdollistavat moduulien vaihtamisen vallitsevaa uhkaa vastaavaksi (vaihtoehtoiset tehtävät). Modulaarisuus on aluksen suunnittelun keskeinen tekijä.

- LCS:n tulee muodostua perusjärjestelmästä ja tehtäväkohtaisesta järjestelmästä, jotka mahdollistavat aluksen kaikkien perustehtävien sekä vähintään yhden vaihtoehdoisen tehtävän hoitamisen.
- Perusjärjestelmään sisältyy ainakin omasuoja-, navigointi- ja C4I- (Command, Control, Communications, Computers and Intelligence) järjestelmät, ja se voi olla modulaarinen.
- Tehtäväkohtainen järjestelmä on toiminnallinen järjestelmien joukko, joka integroituna LCS:an mahdollistaa tietyn tehtävän toteuttamisen. Sen tulee olla vaihdettavissa.
- LCS tukee Sea Power 21:n toteuttamista seuraavilla vaihtoehtoisilla tehtävillä: mii-  
nantorjunta, sukellusveneentorjunta matalissa vesissä ja pienalusten torjunta. LCS pystyy tukemaan myös merisaarron toimeenpanoa sekä tiedustelua, valvontaa ja tunnistamista.

Seuraavassa taulukossa on esitetty LCS:n kriittiset suunnitteluparametrit (Taulukko 3). Modulaarisuuteen liittyvien vaatimusten lisäksi perustavaa laatua olevana vaatimuksena, design driverina, voidaan pitää aluksen suurta, vähintään 40 solmun huippunopeutta. Alustavissa suunnitteluvaatimuksissa suurta nopeutta ei kuitenkaan perusteltu lainkaan. Muista vaatimuksista esille nouseva kriittinen tekijä oli aluksen elinjaksokustannusten edullisuus. Taulukossa mainittu CAIV (Cost As an Independent Variable) on kustannustenhallintaan tarkoitettu menetelmä [9], johon ei perehdytä tässä työssä. LCS:n tavoitteiden tärkeysjärjestys suhteessa tavoitehintaan olivat: suurin nopeus, suorituskyky merenkäynnissä (hitaalla nopeudella ja risteilynopeudella), ilma-aluskapasiteetti, toimintamatka suurella nopeudella, modulaarisuus/hyötykuorma ja herätteet.

Taulukko 3. LCS:n alustavat kriittiset suunnitteluparametrit. Threshold Level on hyväksyttävä taso ja Objective Level on tavoiteltava taso. [116]

LCS Flight 0 Critical Design Parameters		
Category	Threshold Level	Objective Level
Total Price per Ship	Meet CAIV target in the RFP	Exceed CAIV target in the RFP
Hull Service Life	20 Years	30 Years
Draft at Full load Displacement	20 feet	10 feet
Sprint Speed at Full Load Displacement in Sea State #	40 Knots in Sea State 3 (note 1)	50 Knots in Sea State 3 (note 1)
Range at Sprint Speed	1,000 nautical miles (note 2)	1,500 nautical miles (note 2)
Range at Economical Speed	3,500 nautical miles (>18 knots) with payload	4,300 nautical miles (20 knots) with payload
Aviation Support	Embark and hangar: one MH-60R/S and VTUAVs, and a flight deck capable of operating, fueling, reconfiguring, and supporting MH-60R/S/UAVs/VTUAVs	Embark and hangar: one MH-60R/S and VTUAVs, and a flight deck capable of operating, fueling, reconfiguring, and supporting MH-60R/S/UAVs/VTUAVs
Aircraft Launch/Recover	Sea State 4 best heading (note 1)	Sea State 5 best heading (note 1)
Watercraft Launch/Recover	Sea State 3 best heading with in 45 mins. (note 1)	Sea State 4 best heading with in 15 mins. (note 1)
Mission Package Boat type	11 Meter RHIB	40 ft High Speed Boat
Time for Mission Package Change-Out to full operational capability including system OPTEST	4 days	1 days
Provisions	336 hours (14 days)	504 hours (21 days)
Underway Replenishment Modes (UNREP)	CONREP, VERTREP and RAS	CONREP, VERTREP, and RAS
Mission Module Payload (note 3)	180 MT (105 MT mission package / 75 MT mission package fuel)	210 MT (130 MT mission package / 80 MT mission package fuel)
Core Crew Size	50 Core Crew Members	15 Core Crew Members
Crew Accommodations (both core crew and mission package detachments)	75 personnel	75 personnel
Operational Availability (Ao)	0.85	0.95

Note 1: Sea State parameters are defined in Appendix A  
 Note 2: Includes Payload - Taking into account the focused mission nature of the LCS, payload is defined as the heaviest possible Mission Package and core mission systems, excluding ship's fuel.  
 Note 3: Mission package payload is defined as all non-core systems, vehicles, helos, ordnance, and associated personnel, equipment, and containers to perform a single mission. This includes fuels to operate the mission package.

Vaatumuksiin kohdistui arvostelua, koska ne eivät perustuneet virallisesti hyväksytyyn konseptianalyysiin, jossa olisi osoitettu, että LCS on kustannustehokkain vaihtoehto suunniteltujen tehtävien toteuttamiseen. Eräiden arvostelijoiden mukaan LCS oli päätehtävien toteuttamisessa riippuvainen helikoptereista ja miehittämättömistä ilma-aluksista. Jos esimerkiksi suurempien pintataistelualusten, joiden toimintaedellytykset LCS:n tuli turvata, pitäisi siirtyä lähelle rannikkoa, niin miksi ne eivät voisi samalla tavalla itse käyttää helikoptereitaan ilman LCS:ä? [106]

Eräs LCS konseptin perusajatus oli usean aluksen yhteisen suorituskyvyn käyttäminen samanaikaisesti. Naval Postgraduate School:ssa tehdyssä maisterityössä (Master's Thesis) Ben Abbott on tutkinut simuloimalla eri tehtäviin sidotuissa skenaarioissa sopivaa LCS-laivueen

kokoonpanoa [1]. Simuloinnin lähtökohtana oli, että laivueen päätehtävä oli jokin kolmesta LCS:n vaihtoehtoisesta tehtävästä, mutta toiminta-alueella olisi myös toissijainen uhka niin ikään vaihtoehtoisten tehtävien joukosta. Puuttumatta sen enempää simuloinnin ja mallinnuksen haasteisiin, kyseisen tutkimuksen lopputuloksena syntyi nyrkkisääntö, jonka mukaan laivueessa voisi olla viisi päätehtävän mukaisesti varustettua alusta ja kaksi toissijaisen uhan mukaan varustettua alusta eli yhteensä seitsemän (lisähuomaus: fregatin kokoista) alusta.

Laajasti keskustelua herättänyt aihe on ollut laivan suuri nopeus sekä sen perustelujen että sen vaikutusten osalta. Milan Vagon [134] mukaan aluksen nopeuden tulisi perustua laivan kokoon, operaatioalueen olosuhteisiin ja aluksen tehtävään. Hänen mukaansa pienille pinta-taistelualuksille, korveteille ja ohjusveneille suuri nopeus (taktinen liikkuvuus) on tärkeää, koska niiden pitää päästä nopeasti pois esimerkiksi ohjus- tai torpedoammunnan jälkeen. Suuremmilla aluksilla, joihin kirjoituksen perusteella Vego laskee LCS:n mukaan, pitäisi olla kyky torjua pienempien taistelualuksien iskut, joten niille suurella huippunopeudella ei ole niin suurta merkitystä. Niiden operoinnin kannalta on tärkeämpää kyky korkeaan jatkuvaan nopeuteen (operatiivinen tai strateginen liikkuvuus), jolla saavutetaan haluttu, usein pitkä toimintamatka. Vego huomauttaa myös, että vaatimusten mukaan LCS kykenee huippunopeuteen korkeintaan Sea State 3:n mukaisessa aallokossa, jota vastaava merkitsevä aallonkorkeus on kansainvälisen määrittelyn mukaan 0,5...1,25 m [63] ja LCS:n alkusuunnitteluvaatimusten mukaan 1,4 m [116].

Eräänä perusteluna suurelle nopeudelle on ollut jo aiemmin mainittu tarve nopeaan moduulien vaihtoon. Toisaalta miehittämättömien alusten nopeus ja toimintamatka ovat pieniä, joten LCS:n suurta nopeutta tarvitaan siirtämään niitä paikasta toiseen ja sitä kautta hallitsemaan suurehkoa aluetta [28]. Itse tehtävien suorittamisen aikana, erityisesti sukellusveneentorjuntatehtävässä ja miinantorjuntatehtävässä, LCS käyttää kuitenkin pääasiassa pieniä nopeuksia muun muassa miehittämättömien kulkuneuvojen ja helikopterien lähtöön sekä paluuseen liittyen [134]. Suuri nopeus on kuitenkin johtanut esimerkiksi runkoasenteisen kaikumittaimen poisjättämiseen [6]. Aluksen suurta nopeutta ei voida hyödyntää muutenkaan torpedohyökkäyksessä, koska itse aluksessa ei ole tarvittavaa aseistusta. Alus itse asiassa pyrkii välttämään sukellusveneen kohtaamista ja sukellusveneentorjuntatehtävä hoidetaan helikopterilla ja miehittämättömillä aluksilla [6]. Suurten alusten, esimerkiksi maihinnousualusten, suojaamiseen nopeita pienaluksia vastaan tarvitaan suurta nopeutta, mutta se voitaisiin suorittaa helikoptereilla vielä tehokkaammin [28].

Edellä mainittu keskustelu on huomionarvoista, koska kuten jo aiemmin mainittiin, nopeudesta muodostui LCS:n design driver mutta sitä ei ole ainakaan julkisuudessa perusteltu erityisen hyvin. Nopeuden laivateknisiä vaikutuksia tarkastellaan jäljempänä tässä työssä.

### 4.2.3 LCS-hankkeen toteutuminen

Littoral Combat Ship -hanke käynnistyi marraskuussa 2001 DD(X)-alusperheen julkistamisen yhteydessä [112]. Hankkeen vaatimukset, jotka käsiteltiin edellisessä alaluvussa, laadittiin ja julkaistiin vuosien 2001...2003 aikana. Hankkeeseen liittyvässä Senaatin kuulemisessa vuonna 2003 laivasto ilmoitti LCS-hankkeen olevan tärkeysjärjestyksessä ensimmäisenä [106].

Aluksen oli tarkoitus olla suhteellisen edullinen verrattuna aiempiin pintataistelualuksiin. Siinä ei ollut esimerkiksi kallista Aegis-taistelunjohtojärjestelmää. Aluksessa oli tarkoitus käyttää kaukokäyttöisiä järjestelmiä, jolloin sen ei tarvitsisi mennä lähelle uhkaa eikä siltä vaaditaisi suurta taistelunkestävyyttä. Se olisi myös edullisempi käyttää, koska sen henkilöstömäärä olisi pienempi kuin vanhemmissa aluksissa. Itse aluksen oletettiin olevan suhteellisen yksinkertainen, koska varsinaiset järjestelmät olisivat moduuleissa. [54]

NAVSEA julkaisi vuonna 2003 tutkimuksen [57] nopeaan (40...60 solmua) ja pieneen (uppouma 500...3000 tonnia) taistelualukseen liittyvän teknologian kehittämistarpeista yleisellä tasolla viiden vuoden ajanjaksolla. Tutkimuksen lähtökohtana oli nopeuden, toimintamatkan (3000...4000 mpk noin 20 solmun nopeudella) ja hyötykuorman (50...600 tonnia) vaikutus teknisiin ratkaisuihin. Tutkimuksen mukaan runkotyyppin (yksirunko, monirunko, ilmatyynykatamaraani) valinnalla oli merkittävä vaikutus paitsi aluksen päämittoihin myös muihin teknisiin osa-alueisiin kuten rakenteisiin ja materiaaleihin, kaasuturbiineihin, alennusvaihteisiin ja vesisuihkupropulsioon. Tutkimuksessa todettiin muun muassa, että vesisuihkupropulsioon pitäisi pystyä tuottamaan kaksinkertainen teho suurimpiin olemassa oleviin ratkaisuihin verrattuna. Tämä tulos koski yleisesti kaikkia runkotyyppejä. Toisaalta trimaraaniratkaisu olisi uppoumaltaan kaksi kertaa suurempi suurin olemassa oleva trimaraani. Vastaavia mitta-kaavavaikutuksia ilmeni myös muilla teknisillä osa-alueilla eli yleistyksenä voidaan todeta, että uuden alustyyppin kehittämiseen liittyi olemassa olevien teknisten ratkaisujen edelleen kehittämistä aiempaa suurempaan kokoluokkaan.

Laivasto teki sopimuksen kolmen prototyypin suunnittelusta heinäkuussa 2003. Kaikkien prototyyppien suunnittelu perustui olemassa oleviin aluksiin, koska koeteltujen ratkaisujen käytämisellä arvioitiin saavutettavan vaatimukset helpommin. General Dynamics:n ratkaisu oli



trimaraani ja Lockheed Martin:n ratkaisu oli puoliliukuva-alus. Molemmat laivaratkaisut olivat taustaltaan varsin epätavallisia, sillä General Dynamics:n laiva perustui australialaiseen pikalauttaan ja Lockheed Martin:n laiva perustui italialaiseen megajahtiin. Raytheon:n ratkaisu perustui norjalaiseen *Skjöld*-luokan ilmatyynykatamaraaniin (SES, Surface Effect Ship), jota oli suurennettu huomattavasti. [27, 53]

Toukokuussa 2004 laivasto teki sopimuksen Lockheed Martin:n ja General Dynamics:n johtamien tiimien kanssa LCS:n järjestelmäsuunnittelusta. Lockheed Martin:n tiimiin kuuluivat laivasuunnittelutoimisto Gibbs & Cox sekä Bollinger Shipyards:n telakka ja Fincantier:n Marinette Marine Corporation:n telakka [66]. General Dynamics:n tiimiin kuuluivat sen tytäryhtiöiden lisäksi Austal USA:n telakka, BAE systems sekä L-3 Communications [31]. Sopimukseen sisältyi optio valmistusaineiston laadinnasta ja korkeintaan kahden aluksen rakentamisesta tiimiä kohti. Tuolloin tavoitteena oli hankkia 30...60 alusta. Laivaston tavoitteena oli, että ensimmäinen alus maksaisi 150...220 miljoonaa dollaria ilman tehtäväkohtaisia järjestelmiä ja seuraavat alukset korkeintaan 250 miljoonaa dollaria alukselta sisältäen tehtäväkohtaisen järjestelmän. Yhden tehtäväkohtaisen järjestelmän hinnaksi arvioitiin 82 miljoonaa dollaria. Jo alun perin tavoitteena oli, että alukset rakennettaisiin muilla kuin General Dynamics:n Bath Iron Works:n ja Northrop Grumman:n telakoilla. Taustana tällä tavoitteelle oli alusten suhteellisen pieni koko sekä varsinaisen laivaan tulevan laajan taistelujärjestelmän puuttuminen, jolloin laiva oli mahdollista rakentaa muillakin telakoilla kuin perinteisillä sotalaivatelakoilla. [106]

Jo hankkeen alussa huolta aiheutti yksityiskohtaisten kustannusarvioiden puuttuminen [115]. Esimerkiksi vuonna 2005 tiedossa ei ollut hankittavien alusten lukumäärää, moduulien kustannuksia eikä tehtäväkohtaisten järjestelmien lukumäärää suhteessa alusten lukumäärään, joten koko hankkeen kustannuksia ei voitu arvioida. Huomattavaa myös on, että moduuleja ei rahoiteta laivaston laivanrakennusvaroilla, vaan ne rahoitetaan muilla laivaston hankintavaroilla. [106, 112]

Hankintastrategian, jota kutsuttiin nopeaksi hankintastrategiaksi (RAS, Rapid Acquisition Strategy), tavoitteena oli normaalin pintataistelualushankkeen yli 12 vuoden keston hankkeen aloituksesta ensimmäisen laivan toimitukseen puolittaminen kuuteen vuoteen. Laivaston tavoitteena oli vuonna 2001 alkaneen LCS-hankkeen ensimmäisen aluksen toimituksen tapahtuminen vuonna 2007. Tällä pyrittiin laivaston mukaan saamaan yleisesti ottaen suorituskyky nopeammin käyttöön ja LCS:n tapauksessa rannikkomeriin liittyvä suorituskykyvaje tuli täyttää kiireellisesti. Eräiden arvioiden mukaan syyt olivat aivan muut kuin operatiiviset: LCS:n

tuotanto piti saada alkuun ennen hallinnon ja laivaston komentajan vaihtumista sekä DDG-1000:n tuotannon aloittamista. Lähteessä [115] ennakoitu laivahankkeiden kilpailuasetelma oli muodostumassa. [106]

Laivasto sai FY2005 kongressilta rahoituksen ensimmäisen laivan, LCS-1:n, rakentamiseen. Arvio aluksen hinnasta oli 215, 5 miljoonaa dollaria. Pelkästä laivasta ilman tehtäväkohtaista järjestelmää käytetään nimitystä LCS seaframe. Lockheed Martin rakennutti LCS-1:n Marinette Marine:n telakalla Wisconsinin osavaltiossa. LCS-1 *Freedom* toimitettiin laivastolle lokakuussa 2008. FY2006 laivasto sai kongressilta rahoituksen LCS-2:n rakentamiseen. General Dynamics rakennutti sen Austal USA:n telakalla Alabaman osavaltiossa. LCS-2 *Independence* toimitettiin laivastolle tammikuussa 2010.

FY2006 määrärahojen yhteydessä laivasto sai rahoituksen myös LCS-3:en ja LCS-4:än. Samalla viidennen sekä kuudennen aluksen hintakatoksi määrättiin 220 miljoonaa dollaria. Kongressi myönsi FY2007 rahoituksen LCS-5:en ja LCS-6:en. Tammikuussa 2007 laivasto ilmoitti LCS-1:n osalta merkittävästä kustannusten ylittymistä aluksen hinta-arvion ollessa 350...375 miljoonaa dollaria. Laivasto yritti muuttaa LCS-3:n ja LCS-4:n sopimuksia kiinteähintaisiksi, mutta toimittajat eivät suostuneet tähän. FY2008 kongressi hyväksyi laivaston esityksen LCS-3:n...LCS-6:n tilauksien peruuttamisesta. Mahdollisille myöhemmille lisätilauksille asetettiin 460 miljoonan dollarin hintakatto ja samalla laivasto veloitettiin tekemään jatkossa kiinteähintaisia sopimuksia. FY2009 kongressi siirsi hintakaton koskemaan vasta FY2010 tilattavia aluksia. FY2009 kongressi myönsi 1,02 miljardia dollaria kahden aluksen tilaamiseen. ”Uusi” LCS-3 *Fort Worth* tilattiin Lockheed Martin:lta maaliskuussa 2009 ja ”uusi” LCS-4 *Coronado* tilattiin General Dynamics:lta toukokuussa 2009. Molempien aluksien suunniteltu toimitus laivastolle on vuonna 2012. [26, 53, 112]

Toukokuussa 2009 LCS-1:n loppuhinnaksi arvioitiin 537 miljoonaa dollari ja LCS-2:n loppuhinnaksi 575 miljoonaa dollaria. Huomioiden sarjan ensimmäisiin aluksiin liittyvät kertaluonteiset kustannukset, arvioitiin niiden kokonaiskustannuksiksi noin 700 miljoonaa dollaria. LCS-hankkeen kustannusten nousuun on esitetty useita syitä. Ensinnäkin alkuperäistä kustannusarviota on pidetty epärealistisen alhaisena. Kustannusarvion alhaisuuteen on epäilty vaikuttaneen tavoite saada hanke hyväksytyksi. Toisaalta alusten valmistuksessa sovellettiin uutta rakennussääntöä, josta käytetään nimitystä Naval Vessel Rules (NVR). NVR on yhdysvaltalaisen American Bureau of Shipping (ABS) -luokituslaitoksen sotalaivojen rakennussääntö. Erään näkemyksen mukaan NVR on sekoitus sotalaiva- ja kauppa-alussääntöjä, jolla haluttiin hälventää epäilyjä LCS:n olemista liian ”siviilialustyyppinen” [53]. Hankkeen nopea aikatau-

lu ja siitä kiinnipitäminen sekä uudet säännöt johtivat tilanteeseen, jossa laivoja suunniteltiin ja rakennettiin samanaikaisesti. Tällaisen tilanteen tiedetään kasvattavan riskiä kustannusten kasvuun, erityisesti kun lisäkustannuksia ei kontrolloitu riittävästi. Myös telakoiden sekä hankkeen rakennusvalvonnan osaamisen puutteilla on väitetty olleen vaikutusta kustannusten kasvuun. [112]

Syyskuussa 2009 laivasto julkaisi ehdotuksen uudesta LCS-hankintamenettelystä. Sen mukaan laivasto valitsisi tarjouskilpailun perusteella yhden toteutettavan konseptin. Tarjouskilpailun voittaja saisi rakentaa 10 LCS:ä FY2010...2014 eli kaksi alusta vuodessa. Muut kuin edellä mainittu voittaja saisivat osallistua tarjouskilpailuun samaan konseptiin perustuvien viiden aluksen rakentamisesta FY2012...FY2014. Molempien tarjouskilpailujen voittajat saivat kilpailla FY2015 eteenpäin rakennettavista aluksista. Laivaston arvion mukaan FY2011...2015 rakennettavien alusten hinta olisi ollut noin 600 miljoonaa dollaria alusta kohden. [112]

Uuden hankintamenettelyn toimeenpano lykkääntyi useaan kertaan. Lopulta, 29.12.2010, laivasto julkaisi Lockheed Martin:n ja Austal USA:n kanssa tehdyt kiinteähintaiset sopimukset. Tässä yhteydessä ei siirrytty yhteen konseptiin kuten vuonna 2009 oli suunniteltu, vaan sopimukset sisälsivät 10 aluksen hankinnan molemmilta toimittajilta FY2010...2015 eli yhteensä 20 aluksen hankinnan. Yhden aluksen hinnaksi tulee noin 440 miljoonaa dollaria, joka on huomattavasti alhaisempi kuin viimeisin kongressin asettama hintakatto, 538 miljoonaa dollaria. Sopimusten osalta on huomattava, että ennen General Dynamics:n alihankkijana toiminut Austal USA toimii nyt toisena päätoimittajana. Sopimusten julkaisun yhteydessä laivasto ilmoitti, että sen tavoitteena oli edelleen hankkia yhteensä 55 LCS:ä. [98]

#### 4.2.4 LCS:n järjestelmäkokonaisuus ja tekniset ratkaisut

LCS-1 *Freedom* on noin 115 m pitkä yksirunkoinen alus ja LCS-2 *Independence* on noin 127 m pitkä trimaraani eli kolmirunkoinen alus. Molempien alusten uppouma on noin 3000 tonnin luokkaa. Alusten tarkempiin laivateknisiin tietoihin syvennyttään seuraavassa pääluvussa. Alusten perushenkilömäärä on 40. Lisäksi aluksille mahtuu 35 henkilön tehtäväkohtainen henkilöstö. [82]

Molemmissa aluksissa on suuremmat helikopterin laskeutumisalustat kuin aiemmissa laivaston pinta-aluksissa ja niissä on helikopterisuojat MH-60-helikopterille sekä kolmelle MQ-8 Fire Scout VTUAV:lle. Aluksien pääkansien alapuolella on suurehkot tilat tehtäväkohtaisten

järjestelmien veneille ja konteille. Molemmissa konsepteissa veneet voidaan laskea ja nostaa lastitilasta perästä sekä LCS-1:stä myös kyljeltä [38, 39].

LCS:n monikäyttöisyyden, tässä tapauksessa siis vaihtoehtoisten tehtävien, ja järjestelmäkonaisuuden kulmakivi on moduulien käyttö. Tämän vuoksi tässä yhteydessä käsitellään hie-  
man laajemmin moduuliratkaisuja ja monikäyttöisyyttä. Lienee syytä todeta, että alus voi olla monikäyttöinen ilman moduuleitakin, mutta tällöin useiden erilaisten ase- ja sensorijärjestelmien vaatima tila johtaa suureen alukseen, kuten esimerkiksi hävittäjään.

LCS:n moduuliratkaisun taustalla on Tanskan merivoimien Standard Flex (Stanflex) -konsepti, joka on kehitetty 1980-luvulla ja otettu käyttöön 1990-luvulla. Tanskan merivoimien piti korvata 22 pientä pintataistelualusta, mutta se ei ollut mahdollista ”yksi-yhteen” periaatteella taloudellisista syistä johtuen. Tämän vuoksi päätettiin tehdä moduulien käyttöön perustuvia monikäyttöisiä, tehtäviltään muutettavia aluksia tiettyyn tehtävään, esimerkiksi miinantorjuntaan, sidottujen alusten sijasta. Kyseisessä konseptissa yhden osan muodostaa laiva ja sen perussensorit sekä johtamisjärjestelmä ja toisen osan vakiokokoiset kontit (leveys 3,5 m, pituus 3,0 m ja korkeus 2,5 m), joille on konttipaikkoja (syvennyksiä) liityntärajapintoihin aluksen rakenteessa. Kontteihin on asennettu muun muassa Mk 48 - ja Mk 56 -pystylaukaisujärjestelmät, Harpoon-meritorjuntaohjusjärjestelmä, 76 mm tykki, torpedojärjestelmä ja miinantorjuntajärjestelmä. Kaiken kaikkiaan kontteja on varustettu ainakin 15 eri järjestelmällä, ja konttien yhteismäärä oli vuonna 2008 noin 140 kappaletta. Järjestelmät voivat olla osittain konttien päällä, mutta korkeussuunnassa järjestelmät ei saa ulottua yhtä kansiväliä enempää alaspäin. Periaatteessa kontit voidaan asentaa mihin tahansa konttipaikkaan, mutta esimerkiksi tykin pitää olla keulan konttipaikassa ammusvaraston sijainnin vuoksi ja syvyytettävä kaikumittain (VDS, Variable Depth Sonar) perän konttipaikassa mittaimen hinnan mahdollistamiseksi. Kansinosturin sekä veneen pitää olla peräkkäisissä paikoissa. Uudessa tanskalaisessa fregatissa tulee olemaan yksi tykin konttipaikka keulakannella ja ase-  
kannella tulee olemaan paikat neljälle kontille. [25]

Standard Flex -kontit voidaan vaihtaa ainoastaan satamassa ja yhden kontin vaihtoon menee noin tunti. Standard Flex -aluksiin oli alun perin ajateltu perushenkilöstö ja erillinen tehtäväkohtainen henkilöstö. Lopulta päädyttiin kuitenkin ratkaisuun, jossa aluksen henkilöstö sai koulutuksen kyseiseen alukseen sijoitettaviin järjestelmiin. Käytännössä aluksien rooleja ei muuteta kuin pidempien telakointijaksojen yhteydessä. Mahdollisuus alusten roolien muuttamiseen on joka tapauksessa mahdollistanut käytännössäkin laivojen optimoinnin tiettyyn tehtävään esimerkiksi kansainvälisissä operaatioissa. Tanskan laivaston kokemusten mukaan

moduuliratkaisu on helpottanut myös vikaantuneiden järjestelmien vaihtamista ilman laivan pitkäaikaista poissaoloa valmiudesta. Toisaalta uusia aluksia hankittaessa koko taistelujärjestelmää ei tarvitse välttämättä hankkia, ja laivan sekä konttien rajapinta on valmiiksi määritetty. Haasteita on aiheuttanut muun muassa järjestelmien fyysinen sijoittaminen kontteihin sekä konteissa olevien järjestelmien kehittäminen, joka on voinut vaatia muutoksia myös laivojen järjestelmiin, esimerkiksi kaapelointeihin. Yleisesti ottaen kontteihin sijoitetut järjestelmät tarvitsevat enemmän tilaa kuin suoraan aluksen rakenteisiin sijoitetut järjestelmät. Kun tällä hetkellä hankittavina olevat alukset tulevat palveluskäyttöön, arviolta vuonna 2013, lähes kaikki Tanskan laivaston alukset ovat Standard Flex:n myötä monikäyttöisiä. [2, 25]

Toinen laajalti sovellettu moduuliratkaisu on saksalaisen ThyssenKrupp Marine Systems:n (TKMS) MEKO-konsepti (Mehrzweck-Kombination, monikäyttöinen yhdistelmä), joka kehitettiin 1970- ja 1980-lukujen taitteessa. Sen tarkoituksena oli tarjota erilaisia laivojen perusrunkoja, joihin pystyi asentamaan moduuleissa olevia järjestelmiä. MEKO:n selkärankana toimi vakioidut rajapinnat (sähkö, ilmanvaihto, tiedonsiirto). Järjestelmiä oli mahdollista vaihtaa ja myös suurentaa, esimerkiksi 76 mm tykkimoduuli oli mahdollista korvata 127 mm tykkimoduulilla, kunhan tilavaraus oli alun perin tehty isomman tykin mukaisesti. Konseptin alkuperäisenä ajatuksena oli kehittää ja yksinkertaistaa telakan varusteluprosessia, helpottaa vaihdettavuuden avulla järjestelmien ylläpitoa sekä yksittäisten järjestelmien uusimista, mutta varsinaisesti aluksien tehtäviä ei ollut ajatusta muuttaa. [2, 25]

MEKO-konseptissa aluksen järjestelmien päivitys suuremmaksi vaatii tila-, paino- ja tehonsyöttöliikkumavaran huomioimista jo suunnitteluvaiheessa. Tämä kasvattaa aluksen kokoa. Toisaalta kontit itsessään lisäävät järjestelmän painoa ja kannessa olevien konttiauikkojen aiheuttaman lujuuden menetyksen korvaaminen muilla rakenteilla lisää rakenteiden painoa. Tilojen ja rakenteiden osalta on huomioitava muun muassa vesitiiviit laipiot, ja esimerkiksi kaapelikanavissa tulee olla tilavaraa. MEKO-konseptia on kehitetty myös kohti koko järjestelmäkokoontamisen muuttamista tukevaa ratkaisua. TKMS:lla kuitenkin uskotaan, että laivastot eivät muuta alusten rooleja kovin tiheästi, vaan järjestelmien kokoonpanon muutos mahdollistaa ennemminkin aluksen tehtävien muutokset pitkällä aikavälillä liittyen aluksen elinkaareen. Esimerkiksi MEKO 200 -aluksia on rakennettu 25 kappaletta useille valtioille erilaisilla järjestelmillä, mutta niihin ei ole tehty merkittäviä järjestelmämuutoksia ennen alusten peruskorjauksia. [2, 25, 30]

Eräs esimerkki monikäyttöisyyden lisäämisestä on Yhdysvaltojen laivaston käyttämä Mk 41 -pystylaukaisujärjestelmä, josta voidaan laukaista useita erityyppisiä ohjuksia [2]. Itse lau-

kaisualustaa ei tarvitse vaihtaa, vaan ohjuskombinaatio voidaan sovittaa tehtävään sopivaksi. Toisaalta aluksen pitkän aikavälin muunneltavuus tehtävien pysyväksi muuttamiseksi tai taistelujärjestelmän uusimiseksi voidaan toteuttaa riittävällä tila- ja painovarauksella, kuten DD-963-luokan osalta on tehty (Alaluku 4.3.2). Tämä vaatii luonnollisesti myös uuden järjestelmän sovittamista aluksen rakenteisiin ja järjestelmiin, joten se ei ole yhtä yksinkertaista kuin moduulien käyttö.

LCS:n taistelujärjestelmä koostuu perusjärjestelmästä sekä tehtäväkohtaisen järjestelmän moduuleista. LCS-1:n ja LCS-2:n perusjärjestelmät poikkeavat toisistaan taistelunjohtojärjestelmän ja sensorien osalta, eli niissä on eri valmistajien järjestelmät. Perusjärjestelmien keskeiset osat ovat avoimen arkkitehtuurin taistelunjohtojärjestelmä, BAE Systems:n 57 mm:n yleis-tykki ja RAM-ilmatorjuntaohjusjärjestelmä, valvontatutka, tulenjohtotutka ja -kamera sekä harhamaaliheittimet. Tehtäväkohtaiset järjestelmät ovat: miinantorjunta (MCM, Mine Courtermasures), pintasodankäynti (SUW, Surface Warfare) ja sukellusveneentorjunta (ASW). Aluksissa on kolme asemoduulipaikkaa. Merkittävän osan moduuleista muodostavat ilma-alukset ja veneet. Osa tehtäväkohtaisista moduuleista on sijoitettu TEU-kontteihin (Twenty-Foot Equivalent Unit, 20-jalan standardikontti eli merikontti). Tehtäväkohtaisten järjestelmien vaihto tapahtuu satamassa, ja se vaatii 10 tonnin nosturin tai trukin. Lähteen [135] mukaan koko tehtäväkohtaisen järjestelmän vaihtoon testauksineen menisi 2,5 vuorokautta, ja pelkkään moduulien vaihtoon noin vuorokausi. Laivaston tavoitteena on ollut hankkia yhteensä 64 tehtäväkohtaista järjestelmää (24 MCM, 24 SUW ja 16 ASW). [25, 38, 112]

Miinantorjuntajärjestelmä koostuu kaukokäyttöisestä vedenalaisesta miinanetsintäjärjestelmästä, MH-60S-helikopterista sekä sen miinanetsintä- ja raivausjärjestelmistä ja miehittämättömästä pintakulkuisesta raivaimesta. Laivasto on vastaanottanut kaksi osittain toimivaa miinantorjuntajärjestelmää, mutta niiden kehittäminen on viivästynyt teknisten ongelmien sekä testauksessa havaittujen suorituskykypuutteiden vuoksi. Osaa järjestelmän osista ei ole edes testattu todellisissa olosuhteissa. [38, 39, 112]

Pintasodankäyntijärjestelmän keskeiset osat olivat alun perin kolmeen konttiin sijoitetut, Yhdysvaltojen maavoimien hankkeena kehitetyt NLOS (Non-Line of Sight) -ohjukset (yhteensä 45 ohjusta), joita oli suunniteltu käytettäväksi LCS:ssa ensisijaisesti pienehköjä aluksia vastaan. Maavoimat on kuitenkin keskeyttämässä hanketta, eikä vuoden 2010 lopussa ollut tietoa millä NLOS voitaisiin korvata. Pintasodankäyntijärjestelmään kuuluu aluksen 57 mm tykin lisäksi kaksi 30 mm tykkiä sekä MH-60R-helikopterin Hellfire-ohjukset sekä konekiväärit. Alustarkastuksia varten järjestelmään kuuluu kaksi 11 m pitkää kovapohjaista kumivenettä

(RHIB, Rigid-Hulled Inflatable Boat). Laivasto on vastaanottanut yhden osittain toimivan pintasodankäyntijärjestelmän kesällä 2008. Se sisälsi ainoastaan 30 mm tykkien kehitysmallit. [38, 112]

Alkuperäinen sukellusveneentorjuntajärjestelmä perustui aluksen ulkopuolella toimiviin lavetteihin eli miehittämättömiin veneisiin, kaukokäyttöiseen vedenalaiseen alukseen ja VTUAV:in sekä helikopteriin ja sen torpedoihin. Laivasto vastaanotti osittain toimivan sukellusveneentorjuntajärjestelmän syksyllä 2008, mutta se ei osoittautunut riittävän suorituskykyiseksi. Tämän vuoksi laivasto aloitti välittömästi uuden sukellusveneentorjuntajärjestelmän kehittämisen, joka on edelleen kehitystyön alla. Sen keskeinen osajärjestelmä tulee olemaan LCS:sta operoitava syvyytettävä kaikumittain (VDS), joka täydentää helikopterilta operoitavaa kaikumittainta. [38, 112]

LCS:ien modulaarisuuden erityispiirteitä ovat laivan ja taistelujärjestelmän selkeä eriyttäminen toisistaan, aluksen ulkopuolella toimivien järjestelmien käyttö sekä aluksen tehtävien vaihtaminen lyhyellä aikavälillä. Eriyttäminen ei ole koskenut pelkästään järjestelmiä, vaan myös henkilöstöä. Aluksella on oma vakiohenkilöstö, ja kunkin tehtäväpaketin mukana tulee sen oman henkilöstö. Tämä on aiheuttanut epäilyksiä aluksen henkilöstön yhtenäisyydestä sekä osaamisesta erityisesti poikkeustilanteissa, etenkin kun vaihtuvan moduulin henkilöstö voi olla määrältään suhteellisen suuri eli lähes sama kuin aluksen perushenkilöstö [135]. LCS:n osalta laivan ja taistelujärjestelmän eriytyminen on näkynyt jo hankevaiheessa kyseisten järjestelmien erillisinä hankkeina.

Moduulien kehittämisessä ilmenneet ongelmat ja viivästykset ovat estäneet LCS:n suorituskyvyn testaamista ja käyttöönottoa. Tehtäväkohtaisten järjestelmien ja laivan välisessä integraatiossa väitetään myös olevan suuria haasteita. Aiemmin mainittu rakentamisen aikainen suunnittelu on aiheuttanut monia teknisiä ongelmia sekä uudelleen rakentamista. Muun muassa LCS-1:n paino ja painopiste nousivat korkeammiksi kuin oli suunniteltu, josta johtuen sen vauriovakavuus ei täyttänyt laivaston vaatimuksia. Aluksen perään jouduttiin lisäämään kelluntasäiliöitä (Kuva 15) ja LCS-3:n osalta alusta on jouduttu pidentämään neljä metriä. Veneiden ja vedessä operoitavien kaukokäyttöisten laitteiden lasku- ja nostojärjestelmät ovat osoittautuneet ongelmallisiksi molemmissa aluksissa ja niitä pidetään merkittävänä teknisenä riskinä. Tämä riskin vaikutus voi olla huomattava, sillä LCS:n suorituskyky perustuu paljolti aluksen ulkopuolella operoitaviin järjestelmiin. Lisäksi LCS-2:ssa on ollut korroosio-ongelmia dieselmootoreissa sekä vesisuihkulaitteissa. [55, 112]



Kuva 15. LCS-1:n alkuperäinen [100] ja kelluntasäiliöillä modifioitu peräpeili [66].

### 4.3 Aiemmat alukset ja niiden suorituskyky

#### 4.3.1 Kehitettävä suorituskyky: DDG-51

Jo aiemmin tässä työssä esiin tulleen DDG-51 *Arleigh Burke* -luokan hävittäjän taustalla oli 1970-luvun puolivälissä laivastossa ilmennyt huoli vahvasti taistelukykyisten alusten riittävästä määrästä. Ensimmäinen tutkimus uudesta hävittäjästä, jota sitäkin kutsuttiin nimellä DDX, aloitettiin laivaston esikunnassa (OpNav, the Office of the Chief on Naval Operations) erilaisten vaihtoehtojen ideoinnilla vuosina 1978...1979. Tutkimuksen perusteella silloinen laivaston komentaja määräsi NAVSEA:n aloittamaan konseptikehityksen erilaisista vaihtoehtoista. DDGX oli tarkoitettu toimimaan yhdessä uusien Aegis-risteilijöiden (CG-47 *Ticonderoga* -luokka) kanssa korkean uhkatason olosuhteissa tai itsenäisesti matalamman uhkatason olosuhteissa. Alus tuli varustaa Tomahawk-risteilyohjuksilla, kauaskantoisella kaikkumittaimella ja sen piti pystyä kuljettamaan helikopteria. Aluksen uppouman tuli olla 3500...7800 tonnia, sen huippunopeuden tuli olla vähintään 29 solmua ja toimintamatkan vähintään 5000 mpk 18 solmun nopeudella, ja aluksen tuli olla passiivisesti suojattu. Konseptikehitys sisälsi aluksi viisi perusalusta, joista kolmesta laadittiin konseptit useine alaversioineen. Konseptit valmistuivat alkuvuodesta 1980 ja yhtä niistä esitettiin toteuttavaksi vaihtoehdoksi. Ylätason vaatimukset alukselle linjattiin vasta konseptien laadinnan jälkeen syksyllä 1980. [27]

Vuonna 1981 aloitettiin NAVSEA:n johtama alkusuunnitteluvaihe. Tämä vaihe oli varsin tapahtumarikas. Se sisälsi lukuisia niin tekniikkaan, vaatimuksiin ja kustannuksiin liittyviä muutoksia sekä hallinnon ohjausta, jotka on kuvattu yksityiskohtaisesti lähteessä [27]. Aluksen keskeisiä vaatimuksia tärkeysjärjestyksessä olivat: taistelujärjestelmän suorituskyky, no-



peus ja toimintamatka, taistelunkestävyys, asuttavuus ja ”kasvuvara”. Aluksen taistelunkestävyyteen panostettiin alusta alkaen, ja siihen vaikutti lisäksi Falklandin sodan kokemukset. Alus päätettiin rakentaa kokonaan teräksestä, se oli jatkuvasti ylipaineistettu kemiallisia ja biologisia aseita vastaan niiden vaikean havaittavuuden vuoksi, ja se oli ensimmäinen Yhdysvaltojen laivaston alus jossa oli huomioitu tutkapoikkipinta-alan pienentäminen. Myös aluksen merikelpoisuuteen kiinnitettiin huomiota suunnittelemalla uusi runkomuoto, joka oli saanut vaikutteita merikelpoisina pidetyistä neuvostoliittolaisista aluksista.

Alkusuunnittelu hyväksyttiin muutosten jälkeen toukokuussa 1983. Laivaston alkuperäisenä tarkoituksena oli järjestää sopimussuunnittelusta tarjouskilpailu telakoiden kesken, mutta sen pelättiin johtavan aluksen rakentamiseen suunnittelun voittaneella toimittajalla. Laivasto päätti tehdä itse sopimussuunnittelun suunnittelutoimistojen avulla, jolloin varsinaisesta rakentamisesta saataisiin aikaan kilpailu ja sitä kautta kustannussäästöjä. Yleisesti ottaen kustannukset ohjasivat voimakkaasti suunnittelua heti hankkeen alusta alkaen. Niitä yritettiin hallita laivan koon (pituuden ja uppouman) avulla, koska se oli muuttuja johon pystyttiin vaikuttamaan. Rungon osuus aluksen kokonaishinnasta oli kuitenkin vain 15 %. Laivan koneistot muodostivat 30 % hinnasta. Suurimman osuuden hinnasta muodosti taistelujärjestelmä (55 %). [27]

Sarjan ensimmäisen aluksen, DDG-51 *Arleigh Burke:n*, hankinta sisältyi laivaston FY1985 rahoitukseen. Sopimukset aluksen valmistusaineiston laadinnasta ja aluksen rakentamisesta tehtiin huhtikuussa 1985. Alus toimitettiin laivastolle kesällä 1991. DDG-51:n taistelujärjestelmän keskiössä on Aegis-järjestelmä kuten CG-47:llä. Lähteen [110] mukaan DDG-51:llä ei olisi kuitenkaan vastaavia laivasto-osaston johtamiseen tarvittavia tiloja ja varustusta kuten CG-47:llä. Ensimmäisen version eli Flight I:n (154 m, 8800 tonnia) keskeisiä järjestelmiä olivat Mk 41 -pystylaukaisujärjestelmä yhteensä 90 ohjuksella (SM-2-ilmatorjuntaohjus, ASROC Anti-Submarine Rocket -sukellusveneentorjuntaohjus ja Tomahawk-risteilyohjus), 127 mm Mk 54 -tykki, kaksi 20 mm Phalanx-lähtörjuntatykkiä, kahdeksan Harpoon-meritorjuntaohjusta, kaksi Mk 46 -kolmoistorpedoputkea sekä keula-asenteinen kaikumittain ja hinattava hydrofonikaapeli. Alus oli niin sanottu high-end eli vahvasti aseistettu taistelualus, jossa ei oltu panostettu viihtyvyyteen ja esimerkiksi sen majoitustilat olivat varsin karut. Flight II (DDG-72...78) sisälsi parannuksia lähinnä johtamis- ja viestijärjestelmiin. [27, 102, 137]

Alkuperäisessä DDG-51:ssä ei ollut hangaaria, vaan ainoastaan helikopterin laskeutumis-alue. Tämän taustalla oli ainakin kaksi eri syytä. Ensinnäkin, DDG-51:n haluttiin erottuvan pienempänä ja edullisempana aluksena verrattuna CG-47:än (pituus 176 m, uppouma 10000 tonnia). Helikopterin säilytysuojan poisjättämisellä aluksen pituus saatiin pienemmäksi, joka palveli edellä mainittua tavoitetta. Toisaalta laivasto-osastoissa katsottiin olevan enemmän kuin tarpeeksi helikoptereita, sillä CG-47:ssä, DD-963:ssa ja FFG-7:ssä oli kaksi helikopteria hangaareineen. [27]

Jo vuonna 1988 alusluokkaa haluttiin muuttaa lisäämällä siihen kaksi hangaaria sekä kasvatamalla ohjusten määrää, mutta suunnitelma hylättiin aluksen kasvaneen koon (10700 tonnia) ja kalleuden vuoksi. Vuonna 1991 laivaston komentaja määräsi tekemään uuden tutkimuksen, jossa huomioitaisiin ensimmäisen Irakin sodan kokemukset: muun muassa helikoptereiden käyttö alustarkastuksiin ja vihollisen pienveneiden tuhoamiseen, ohjushyökkäyksestä selviämisen parantaminen ja miinoitetulla alueella toimiminen. Tämä tutkimus valmistui vuonna 1992, ja sen perusteella DDG-51:stä alettiin valmistaa uutta versiota, Flight IIA, jonka ensimmäinen alus oli kesällä 2000 toimitettu DDG-79 *Oscar Austin* (155 m, 9700 tonnia). Suurin näkyvä muutos oli kahden helikopterisuojan lisääminen alukseen (Kuva 16). Muita muutoksia oli muun muassa ohjusten lukumäärän kasvattaminen 90:stä 96:en poistamalla merellä tapahtuva ohjustäydennysmahdollisuus, miinan havaitsevan kaikumittaimen lisääminen, rungon pidentäminen noin 1,5 metrillä, räjähdystä varten vahvistettujen laipoiden lisääminen keskilaivaan konehuoneiden ympärille sekä perälipan asentaminen laivan kulkuvastuksen alentamiseksi ja potkurien uudelleen muotoilu. Alkuperäiseen versioon verrattuna alukselta poistettiin meritorjuntaohjukset sekä hinattava hydrofonikaapeli. Osassa Flight IIA -aluksia hangaarin oikeaan etuosaan on sijoitettu kauko-ohjattava miinantorjuntajärjestelmä, joka laskeaan ja nostetaan hangaarin sivussa olevasta portista. [27, 102, 137]



Kuva 16. DDG-51: alkuperäinen Flight I ilman hangaaria (yllä [89]) ja Flight IIA kahdella hangaarilla (alla [90]).

Kaiken kaikkiaan laivasto hankki vuoteen 2005 mennessä 62 kappaletta DDG-51-aluksia, joista viimeisin DDG-112, toimitetaan laivastolle vuonna 2011. Alusluokalle tullaan tekemään laivatekninen ja taistelujärjestelmän modernisointi, joka koskee aluksi Flight I - ja II - aluksia (DDG-51...78), mutta myöhemmin myös koko alusluokkaa. Modernisointi sisältää muun muassa Mk 41 -pystylaukaisujärjestelmän päivityksen ballististen ohjusten torjuntaan tarkoitettua SM-3-ohjusta varten, mutta myös nykyisen 276 henkilön miehistön pienentämiseen ja asuintilojen viihtyvyyteen liittyviä muutoksia [81, 83, 102]. DDG-51:n alkuperäinen operointiaika oli 35 vuotta, mutta laivastolla on tarkoitus pidentää Flight IIA -alusten operointiaika 40 vuoteen [111]. Tämä siis tarkoittaa sitä, että nyt viimeisimpinä hankitut alukset ovat palveluskäytössä 2050-luvulle saakka puhumattakaan tulevista Flight III -aluksista.

Kuten jo aiemmin todettiin (Alaluku 4.1.3), laivasto on aloittanut uudelleen 1980-luvun alussa suunnitellun DDG-51:n hankinnat. Norman Friedman [27] on pitänyt DDG-51:n vahvuutena

sitä, että alusta ei oltu optimoitu tiukasti mihinkään kylmän sodan aikaiseen tehtävään.

Kommenttina tähän voikin todeta, että alkuperäisen DDG-51:n ainoa selvä tehtävien optimointiin liittyvä ratkaisu näyttäisi olleen helikopterin poisjättäminen, ja tämäkin ”virhe” korjattiin Flight IIA -versiossa.

Edelliseen liittyen Friedman pitää tehtäviin perustuvaa järjestelmällistä vaatimusmääritettyä sopivana esimerkiksi panssarivaunuille ja hävittäjälentokoneille, joiden tehtävät kyetään määrittelemään tarkasti. Hänen mielestään laivat ovat paljon monimutkaisempia, ja tiukka integrointi ja tehtävien optimointi vain rajoittaa niiden joustavaa käyttöä. Friedman vertaakin laivaa maavoimien yhtymään, jonka kokoonpano voi muuttua ajan kuluessa tehtävien ja aseistuksen muutosten myötä. Hän pitää hyvänä käytäntönä ”vanhaa” laivaston toimintatapamallia, jossa laivaston esikunta laati alustavat vaatimukset ja NAVSEA teki tai teetti niiden perusteella alustavia konseptisuunnitelmia ennen teollisuudelle esitettäviä vaatimuksia. Näiden suunnitelmien perusteella laivaston esikunta pystyi arvioimaan vaatimusten vaikutusta ja tekemään muutoksia niihin. Tämän vuorovaikutteisen suunnitteluprosessin perusteella voitiin valita sopiva vaihtoehto, josta edelleen jalostettiin vaatimukset.

#### 4.3.2 Korvattavat suorituskyvyt: DD-963 ja FFG-7

DD-963 *Spruance* (172 m, 9200 tonnia) oli ensimmäinen suuri kaasuturbiinikäyttöinen alus Yhdysvaltojen laivastossa. Aluksen suunnittelun keskeinen lähtökohta oli mahdollisuus modernisointiin ja myöhempiin muutoksiin eli muunneltavuus. Ajatuksena oli aluksen alkuperäisen laivasto-osaston, erityisesti lentotukialusosaston, sukellusveneentorjuntaroolin muuttaminen myöhemmin hankittavilla aluksilla alueilmatorjuntarooliksi (DDG). Tähän liittyi myös ajatus järjestelmien vaihdosta ja tilavarauksista. Aluksen suurehkoon pituuteen vaikuttivatkin sijoitettavat järjestelmät ja tilavaraukset sekä vaatimus 30 solmun huippunopeuden saavuttamisesta Seastate 4 aallokko-olosuhteissa (kansainvälisen määrittelyn mukaan merkitsevä aallonkorkeus 1,25...2,5 m [63]) tavallisen tyynen veden olosuhteiden sijaan. Sukellusveneentorjuntatehtävän vuoksi alukselta vaadittiin erittäin pientä akustista herätettä, ja kyseinen vaatimus johti kaasuturbiinikäytön valintaan. [27]

Aluksella oli 319...339 henkilön miehistö. Aluksen keskeisiä järjestelmiä olivat valvonta- ja tulenjohtotutkien lisäksi 8-putkinen Mk 29 Sea Sparrow -kohdeilmatorjuntaohjusten laukaisualusta, kaksi 127 mm Mk 45 -tykkiä, kaksi 20 mm Phalanx -lähitorjuntatykkiä, kahdeksan Harpoon-meritorjuntaohjusta, ASROC-sukellusveneentorjuntaohjusten 8-putkinen Mk 16 -laukaisujärjestelmä (lisäksi 16 uudelleen ladattavaa ohjusta), kaksi Mk 46 -kolmois-

torpedoputkea sekä keula-asenteinen kaikumittain ja hinattava hydrofonikaapeli sekä kaksi helikopteria hangareineen. Helikopterien laskeutumisalue oli keulasta  $\frac{3}{4}$  laivan mittaa taaksepäin, optimaalisessa paikassa jyskinnän aiheuttaman liikkeen kannalta. [27, 41, 137]

Taistelujärjestelmästä oli erilaisia versioita. Alun perin ajateltua DDG-versiota ei koskaan varsinaisesti tilattu, mutta DD-963:en perustava ja Iranin vallankumouksesta johtuen Yhdysvaltoihin ”päätynyt” DDG-993 *Kidd* -luokka oli varustettu ASROC:n ja Sea Sparow:n sijasta kahdella SM-1-alueilmatorjuntaohjusten kaksivartisella Mk 26 -laukaisujärjestelmällä. DD-963:n keskeisin muutos, ja osoitus aluksen muunneltavuudesta, oli Mk 16 -laukaisujärjestelmän korvaaminen Mk 41 -pystylaukaisujärjestelmällä (Kuva 17). Aluksen rooli laajeni sukellusveneentorjunnasta tuli-iskukykyyn, sillä kyseisessä Mk 41 Mod 0 versiossa oli yhteensä 61 laukaisupaikkaa Tomahawk-risteilyohjuksille ja ASROC VLS -ohjuksille. Aluksella ei kuitenkaan ollut SM-2-ilmatorjuntaohjuksen ohjaukseen tarvittavaa Aegis-järjestelmää. Paras esimerkki DD-963:n muunneltavuudesta lienee Aegis-risteilijä CG-47:n rungon perustuminen DD-963:en. [27, 44, 137]



Kuva 17. DD-963-luokka alkuperäisellä ASROC Mk 16 -laukaisulaitteella (yllä [139]) ja Mk 41 -pystylaukaisualustalla (alla [92]).

Aluksia tilattiin kaiken kaikkiaan 30 kappaletta vuosina 1970...1975. Ensimmäinen alus, DD-963 *Spruance*, toimitettiin laivastolle vuonna 1975. Alusluokka poistui palveluskäytöstä vuonna 2005. Aluksien alkuperäinen palvelusaika piti olla 45 vuotta, mikä ei tullut lähellekään täyteen. Syiksi tähän mainitaan muun muassa kova käyttö sekä riittämätön ylläpito. [137, 27]

FFG-7 *Oliver Hazard Perry* -luokan, alkuperäiseltä määrittelyltään PF 109 (Patrol Frigate), taustalla oli huoli low end eli hieman vaatimattomampien, mutta lukumääräisesti suurten saattajien riittävydestä. Aluksen suunnittelun keskeinen tavoite oli alhaiset kustannukset. Aluksen alkuperäinen tehtävä oli toimia nopeiden saattueiden (20 solmua) saattajana ja kyetä valvomaan merialuetta 10 vuorokauden ajan 1000 mpk etäisyydellä tukikohdasta. Aluksesta oli aluksi tarkoitus tehdä kaksi eri versiota, toinen ilmatorjuntaan optimoitu ja toinen sukellusveneentorjuntaan optimoitu, mutta lopulta päädyttiin vain yhteen versioon. Aluksi tämä versio painottui ilmatorjuntarooliin, mutta kesken suunnittelun sukellusveneentorjuntaroolia alettiin painottaa enemmän. Tästä on osoituksena esimerkiksi toisen hangaarin lisääminen alukseen kesken suunnittelun. Aluksen erikoisuuksina voidaan pitää vain yhtä potkuria, jolla pyrittiin kustannusten alentamiseen, sekä kansirakennuksen päälle sijoitettua päätykkiä. [27]

FFG-7:stä (4200 tonnia) on kaksi eri runkoversiota, alkuperäinen short hull (133 m) ja MH-60 Seawawk (LAMPS-III, Light Airborne Multi-Purpose System) -helikopterin operointijärjestelmän vuoksi pidennetty long hull (138 m). Aluksella on noin 215 henkilön miehistö. Aluksen keskeisiä järjestelmiä olivat valvonta- ja tulenjohtotutkien lisäksi yksivartinen Mk 13 -ohjuslaukaisujärjestelmä yhteensä 40 ohjukselle (SM-1-alueilmatorjuntaohjus ja Harpoon-meritorjuntaohjus), 76 mm tykki, 20 mm Phalanx-lähitorjuntatykki, kaksi Mk 46 -kolmoistorpedoputkea sekä runkoasenteinen kaikumittain ja hinattava hydrofonikaapeli sekä kaksi helikopteria säilytysuojineen. SM-1-alueilmatorjuntaohjuksen palveluskäytöstä poistumisen myötä vuonna 2003 Mk 13 -ohjuslaukaisujärjestelmä poistettiin aluksilta, joten tällä hetkellä alukset soveltuvat sukellusveneentorjuntaan sekä valvontatehtäviin. [40, 85, 102, 137]

Ensimmäinen alus tilattiin FY1973 ja toimitettiin laivastolle vuonna 1977. Viimeisin alus, FFG-61 *Ingraham* otettiin palveluskäyttöön vuonna 1989. Kaiken kaikkiaan Yhdysvaltojen laivastolla on ollut 51 kappaletta FFG-7-aluksia. Lisäksi Australialle valmistettiin neljä alusta. FFG-7:än perustuvia tai Yhdysvaltojen käytöstä poistamia aluksia on käytössä myös useilla muilla valtioilla, muun muassa Puolalla, Espanjalla ja Turkilla. Osa aluksista on jo romutettu. Tämän tutkimuksen laadinnan aikana Yhdysvaltojen laivastolla oli palveluskäytössä 29 alus-

ta, joille on tehty modernisointi vuosina 2003...2011 sisältäen muun muassa diesel-generaattorien vaihdon kaupallisiin tuotteisiin sekä pienehköjä laivateknisiä modifikaatioita. Modernisoinnin tavoitteena oli varmistaa, että alukset saavuttavat 30 vuoden palvelusajan. [40, 84, 102]

#### 4.4 Yhteenveto hankkeista

Tässä tutkimuksessa hankkeiden tarkastelu toimi tutkimuksen kokonaiskehiksenä ja siten lähtökohtana laivatekniselle tarkastelulle. Merkittävä laivatekniikkaan vaikuttava tekijä on hankkeen vaatimukset, joiden tunnistaminen toimi laivateknisen arvioinnin lähtökohtana. Hankkeiden tarkastelulla pyrittiin myös tunnistamaan hankkeisiin vaikuttaneita tekijöitä.

Molemmissa tarkasteltavissa hankkeissa keskeinen vaatimukseen vaikuttanut tekijä on ollut toiminta rannikkomerillä. DDG-1000:n osalta alkuperäinen näkökulma rannikkomeritoimintaan oli tulenkäyttö maa-alueelle. LCS:n osalta korostui rannikkomerillä esiintyvät uhat ja myös terrorismityyppinen toiminta, kuten esimerkiksi vastustajan epäsymmetrinen toiminta pikaveneillä. Molempiin hankkeisiin vaikutti myös tavoite aluksen henkilöstömäärän pienentämisestä.

Oheiseen taulukkoon (Taulukko 4) on koottu tässä työssä syntynyt käsitys DDG-1000- ja LCS-hankkeiden alkuperäisten toteutuksien vastaavuus Naval Transformation:n keskeisiin tekijöihin. Taulukkoa tulee tulkita siten, että merkityt tekijät ovat nousseet erityisesti esille. Alkuperäisessä Naval Transformation-tilauksessa (Taulukko 1) ollut merellinen tukeutuminen on jätetty pois, koska DDG-1000:n osalta sen suhteen ei tullut mitään erityistä esille. LCS:n osalta on todettava, että moduulien vaihto on suunniteltu tehtäväksi satamassa. Tässä työssä ei tutkittu suunnitellun merellisen tukeutumiskonseptin lastausolosuhteiden vastaavuutta maissa olevaan satamaan, joten LCS:n osalta kyseiselle arvioinnille ei ollut perusteita.

Taulukko 4. DDG-1000- ja LCS-hankkeet osana Naval Transformation:ia.

Transformed U.S. naval forces	DDG-1000	LCS
Plan for joint operations in littoral waters against regional adversaries	X	X
Network-centric operations		X
Significant use of unmanned vehicles		X
Use of new naval formations, such as expeditionary strike groups	X	X
Ships and shore operations with fewer people; cost of personnel fully recognized	X	X
New, more flexible ship-deployment cycles		X
Streamlined, reformed practices	X	X

Taulukon perusteella voidaan havaita, että erityisesti LCS-hanke vastaa hyvin Naval Transformation:n keskeisiä osa-alueita. DDG-1000:n osalta esille tulee hankkeen tosiasiallinen käynnistyminen jo 1990-luvulla, jolloin verkostokeskeinen sodankäynti ja esimerkiksi siihen liittyvä miehittämättömien alusten merkittävä rooli ei ollut vielä ajankohtainen. Kokonaan toinen kysymys on yllä olevan Naval Transformation-tilin tämän hetkinen ajantasaisuus. Esimerkiksi laivaston lausunto vuodelta 2008 korosti valtameritoimintakykyä rannikkomerillä tapahtuvan toiminnan sijaan. Tämä esimerkki tuo hyvin esille pitkäjänteisen kehittämisen haasteet, kun perustavaa laatua olevissa tekijöissä tapahtuu yllättäviä muutoksia. Tätä taustaa vasten alusten optimointi juuri tiettyyn vallitsevaan näkemykseen, tiettyihin tehtäviin ja tiukasti sidottuihin vaatimuksiin voi pitkissä hankkeissa johtaa tilanteisiin, jossa aika ajaa tarpeen ohitse.

Kaiken kaikkiaan laivaston pintataistelualushankintasuunnitelman johdonmukaisuutta on kyseenalaistettu. 1990-luvun puolivälistä alkaen aina vuoden 2001 marraskuuhun saakka laivasto suunnitteli SC-21-alusperhettä, johon ei kuulunut LCS. Marraskuusta 2001 alkaen suunnitelma muuttui DD(X)-alusperheeksi, johon kuului DD(X):n ja CG(X):n lisäksi myös LCS. Laivasto perusteli usean vuoden ajan DDG-51-luokan tuotannon lopettamista ja DDG-1000:n tuotannon aloittamista. Heinäkuussa 2008 laivasto kuitenkin ilmoitti, että se haluaa lopettaa vuonna 2007 aloitetut DDG-1000:n hankinnat ja sen sijaan aloittaa uudelleen vuonna 2005 lopetetut DDG-51:n hankinnat. Joulukuussa 2009 laivasto ilmoitti haluavansa peruuttaa CG(X)-hankkeen ja sen sijaan rakentaa modifioituja DDG-51-aluksia aina vuoteen 2023.



#### 4.4.1 Yhteenveto DDG-1000-hankkeesta

DDG-1000-hanke on ollut erittäin pitkäkestoinen. Sen alustavat vaatimukset julkaistiin jo vuonna 1994, joten sen taustan voidaankin katsoa olevan kylmän sodan päättymisen aikaisessa tilanteessa. Vaikka alkuperäinen DD-21-hanke lopetettiin kesken, oli DDG-1000 selvä jatkumo sille. DDG-1000-hankkeen vaatimuksista keskeiseksi nousi aluksen alhainen heräte-taso erityisesti tutkaherätteen osalta. Toinen keskeinen aluksen suorituskykyyn liittyvä vaatimus oli tykistön tuli-iskukyky maa-alueelle, ja siitä seurannut asejärjestelmävaatimus. Aluksen suunnittelun reunaehtona oli sähköisen koneiston käyttäminen.

Hankkeessa pyrittiin saavuttamaan kehittyneempiä teknisiä ratkaisuja sekä laivan ja taistelujärjestelmän tiiviimpää ja tehokkaampaa integrointia teollisuuden muodostamien tiimien kilpailevien suunnitelmien avulla. Laivaston sisäistä konseptisuunnittelua ei toteutettu. Laivasto määritteli keskeiset taistelujärjestelmään kuuluvat komponentit sekä päätti edellä mainitusti koneistojärjestelmästä. Suunnittelukilpailun jälkeen tarkoituksena oli, että voittajan ratkaisua olisi voitu valmistaa molemmilla tai jommalla kummalla kilpailevista telakoista. Tämä pyrittiin varmistamaan ottamalla suunnittelukilpailun hävinnyt osapuoli mukaan National Team:in. Lopulta laivasto joutui kuitenkin itse ottamaan pääintegraattorin roolin ja tekemään erillisiä sopimuksia toimittajien kanssa. Tässä yhteydessä National Team purkautui, joten hanketta ei kyetty toteuttamaan teollisuusvetoisesti alusta loppuun kuten alun perin vaikuttaa olleen tarkoitus.

Hallinnon ja laivaston eriävät näkemykset leimasivat hankkeen laivanrakennuksen toteuttamista. Tässä hankkeessa kilpailevat telakat olivat pintataistelualusten rakentamista 1980-luvulta hallinneet BIW:n ja NG:n Ingalls:n telakat. Laivaston päämääränä vaikuttaa olleen aidon kilpailutilanteen saaminen telakoiden välille, ja siten myös kustannusten hallinta. Hallinto painotti telakoiden toimintaedellytysten turvaamista. Tämä merkitsi käytännössä tilausten jakamista telakoiden kesken. Jälkimmäiseen näkemykseen on varmasti vahvoja perusteita työllisyyden ja teollisuuden kannalta, mutta kilpailutilanteen puuttumisen voi olettaa kasvaneen kustannuksia. Vaikka DDG-1000-hanke kuihtui lopulta vain kolmeen alukseen, tehtiin niidenkin rakentavan telakan, BIW:n, valinta lopulta sen perusteella, mikä oli telakoiden sen hetkinen tilauskanta laivastolta. Yhteenvetona hävittäjien laivanrakennuksesta voidaan todeta, että todellista kilpailutilannetta ei ollut, jolloin kustannusten hallinta kilpailun avulla ei ollut realistinen vaihtoehto. Mielenkiintoinen kysymys myös on, mikä on telakoiden laatu ja tehokkuus tilanteessa, jossa niiden ei tarvitse todellisuudessa kilpailla? Tällä kysy-

myksellä ei ole kuitenkaan tarkoitus kyseenalaistaa telakoiden taistelualuksiin liittyvää kokemukseen perustuvaa osaamista, jonka voi olettaa olevan hyvällä tasolla.

Hankkeen toteutumiseen vaikutti lukuisat uudet tekniset ratkaisut, joita ei oltu sellaisenaan käytetty aikaisemmin. Aluksen taistelujärjestelmän osalta näitä olivat muun muassa uusi taistelunjohto- ja tutkajärjestelmä sekä uudet tykki- ja pystylaukaisujärjestelmät. Riskejä pyrittiin hallitsemaan muun muassa järjestelmien kehitysmalleilla ja EA/SD-lähestymistavalla. Tästä huolimatta erityisen haasteellisiksi osoittautuivat taistelunjohto- ja tutkajärjestelmien kehittäminen. DDG-1000:n taistelunjohtojärjestelmän osalta tehtiin selvä muutos aiempaan, kun laivaston nykyisten risteilijöiden ja hävittäjien taistelujärjestelmän ytimessä olevan Aegis-järjestelmän toimittajan Lockheed Martin:n sijasta taistelunjohtojärjestelmän ja tutkajärjestelmien päätoimittajaksi valittiin Raytheon. Laivateknisten järjestelmien osalta haasteita on ollut sähköisessä koneistossa sekä kansirakennuksen valmistustekniikassa.

DDG-1000-hankkeen alkuvaiheessa vuonna 2003 laivaston tavoitteena oli hankkia 24 alusta. Tuolloin aluskohtaiseksi hinnaksi arvioitiin 1,8 miljardia dollaria. Vuonna 2008 laivaston arvion mukaan seitsemään alukseen supistuneen sarjan kaksi ensimmäistä laivaa olisivat maksaneet 3,2 miljardia dollaria ja loput viisi laivaa 2,2 miljardia dollaria. Kongressin budjettitoimisto (CBO) piti tätä arviota alimitoitettuna, sen mukaan kaksi ensimmäistä laivaa olisivat maksaneet 5,0 miljardia dollaria ja loput viisi laivaa 3,6 miljardia dollaria. Vuonna 2009 hankke päätettiin rajata vain kolmen aluksen hankintaan. Toukokuussa 2010 puolustusministeriön tekemän laskelman mukaan DDG-1000-hankkeen yhden laivan kokonaishinta tutkimus- ja kehittämiskuluineen oli 7,4 miljardia dollaria, ja yhden laivan pelkät valmistuskustannukset olivat 4,3 miljardia dollaria. Vertailun vuoksi on todettava, että uudelleen aloitettavan DDG-51:n tuotannon ensimmäisen aluksen on arvioitu maksavan 2,2 miljardia dollaria ja siitä eteenpäin rakennettavien alusten 1,8 miljardia dollaria. Karkeasti arvioiden yhden DDG-1000:n hinnalla saa siis vähintään kaksi DDG-51:ä jos verrataan pelkkiä valmistuskustannuksia. Edellä mainitut luvut eivät ole vertailukelpoisia, koska niitä ei ole indeksikorjattu ja niiden sisältämät kustannukset tutkimus- ja kehitystyön osalta eivät ole selvillä. Kokonaisuudessaan hankkeeseen on käytetty joka tapauksessa valtavasti varoja. Erityisesti tutkimus- ja kehittämiskustannusten suhteellinen osuus on suuri: pienessä kolmen laivan sarjassa se on yli 40 % arvioituista kokonaiskustannuksista.

Kustannusten valtavaan kasvuun johtaneen kehityksen selvittäminen olisi oman tutkimuksensa aihe. Tässä tutkimuksessa syntyneen käsityksen mukaan kustannusten kasvuun vaikutti aiemmin mainitut todellisen kilpailun puuttuminen sekä lukuisten uusien teknisten ratkaisujen

soveltaminen. Käsitystä teknisten ratkaisujen epäkypsyydestä vahvistaa edellä mainittu tutkimus- ja kehittämiskustannusten suuri osuus. Myös alussarjan lukumääräisen supistumisen 24 aluksesta vain kolmeen alukseen voidaan olettaa vaikuttaneen kustannuksiin.

DDG-1000-hankkeen kannalta vuonna 2009 tehty päätös alusten hankinnan rajaamisesta vain kolmeen alukseen ja hankintavarojen käyttäminen jatkossa DDG-51-alusten uudelleen tuotantoon oli ”dramaattinen”. Päätöstä perusteltiin sotilaallisten uhkakuvien muuttumisella, eikä siinä yhteydessä eritelty konseptin yleistä toteuttamiskelpoisuutta. Paluu koetellun DDG-51-konseptin käyttöön on mielestäni osoitus siitä, että DDG-1000 oli taloudellisesti ja/tai teknisesti konseptina toteuttamiskelpoisuuden kannalta epäonnistunut. Vaikka DDG-1000 on ajautunut sivuraiteelle, eikä siitä näytä muodostuvan pintataistelualuslaivaston yksi kulmakivi, jatkuu hanke vielä pitkään. Ensimmäisen aluksen on arvioitu olevan palveluskäytössä vasta vuonna 2016, siis vuosikautia sen jälkeen kun hankinnat päätettiin lopettaa. Onkin erittäin mielenkiintoista seurata, kuinka hanke sekä järjestelmien kehitys ja tuotanto etenevät tilanteessa, jossa niihin on sijoitettu valtava pääoma, mutta kehittämisen painopiste on muissa hankkeissa.

#### 4.4.2 Yhteenveto LCS-hankkeesta

LCS-hanke vaikutti tulleen osaksi Yhdysvaltojen pintataistelualusten kehittämistä hieman sivusta, ja toisaalta osana sen hetkistä nousevaa sotataidollista näkemystä eli verkostokeskeistä sodankäyntiä. LCS:n taustalla oli verkostokeskeisen sodankäynnin kehittämisessä mukana olleen vara-amiraali Cebrowskin esille tuoma Streetfighter-konsepti. Hankkeelle vaikutti tulleen suotuista hetki, kun DD-21-hanke lopetettiin ja sen tilalle kehitettiin DDX-alusperhe, johon LCS:n sovitettiin. Kuten DDG-1000:n osalta, myös LCS:n vaatimusten taustalla oli ”vanhan” SC-21-alusperheen vaatimukset. LCS:n osalta rannikkomeritoiminta päivitettiin osaksi vaatimuksia. Toisaalta LCS:lle, tai yleisesti vastaavan tyyppiselle kymmeniä aluksia sisältävälle alusluokalle, näytti olevan käytännöntarve vanhempien alusten korvaamiseksi.

LCS:n osalta lähdettiin toteuttamaan uutta taistelualusmallia, jossa laiva ja taistelujärjestelmä erotettiin toisistaan. Muissa laivaston pintataistelualuksissa taistelujärjestelmä on ollut kiinteä osa laivaa. LCS-laivaan tosin sisältyi muutamia perusjärjestelmiä, mutta varsinainen suorituskyky rakentui moduuleista koostuvista vaihtoehtoisista taistelujärjestelmistä. Myös henkilöstö jaettiin laivan perushenkilöstöön ja tehtäväkohtaiseen lisähenkilöstöön. Uuteen malliin sisältyi aluksen ulkopuolella toimivien järjestelmien käyttö ja mahdollisuus tehtävien vaihtoon lyhyelläkin aikavälillä. Nämä kaksi tekijää erottaa LCS:ssä käytetyn moduuliratkaisun muista

käytössä olevista moduuliratkaisuista, joissa moduulit ovat käytännössä aluksen rakenteisiin sijoitettavia järjestelmäkontteja. Niiden vaihtaminen tulee kyseeseen lähinnä pidempien huoltojaksojen aikana. LCS:n keskeinen laivaan kohdistuva vaatimus modulaarisuuden lisäksi oli suuri nopeus, joka on herättänyt runsaasti keskustelua. Nopeutta ei ole perusteltu kuitenkaan yksiselitteisesti.

Hankkeen hankintatapaa kehitettiin hankinnan nopeuttamiseksi. Tämä johti ainakin osittain koeteltujen ratkaisujen tarjoamiseen. Nopean hankinnan taustalla on epäilty olevan tarve saada hanke hyväksyttyä sille suotuisan hallinnon aikana. LCS-hankkeessa järjestelmien kehittäminen aloitettiin teollisuuden muodostamien tiimien suunnitelmien perusteella. Näiden tiimien johdossa olivat Lockheed Martin ja General Dynamics. LCS-hankkeessa valittiin kaksi kehitettävää konseptia, joiden laivaratkaisut, yksirunkoinen puoliliukuva alus ja trimaraani, olivat varsin erilaisia. Koska aluksiin ei ollut tarkoitus sisällyttää laajaa, esimerkiksi Aegistyyppistä taistelujärjestelmää, eivätkä alukset olleet erityisen suuria, tavoitteeksi asetettiin niiden rakentaminen muilla kuin laivaston vakiintuneilla toimittajilla, BIW:llä ja NG:llä. Laivojen arvioitiin olevan kuljettavista moduuleista johtuen aiempaa yksinkertaisempia, ja ehkä osittain tästä syystä molemmat LCS-laivakonseptit perustuivat siviilialuksiin. Uusien telakoiden käyttämisen voi olettaa ainakin tuotannon alkuvaiheessa tuovan kitkaa, koska asiakkaan ja toimittajan toimintatavat eivät ole välttämättä yhdenmukaisia. Myös lähtökohdaltaan siviilialuksen rakentaminen sotalaivaksi voi lisätä vaikeuksia tuotannossa vaikka telakka olisikin rakentanut aiemmin alkuperäistä alustyyppiä. LCS-hankeessa hankintaa saatiin käytännössä nopeutettua, ja molempien konseptien ensimmäiset alukset ovat jo palveluskäytössä, tosin niiden tuotanto ei ollut ongelmaton.

Laivaston tavoitteena oli vuonna 2004, että ensimmäinen alus maksaisi 150...220 miljoonaa dollaria ilman tehtäväpaketteja ja seuraavat alukset korkeintaan 250 miljoonaa dollaria alukselta sisältäen tehtäväpaketit. Yhden tehtäväkohtaisen järjestelmän hinnaksi arvioitiin 82 miljoonaa dollaria. Toukokuussa 2009, huomioiden sarjan ensimmäisiin aluksiin liittyvät kertaluonteiset kustannukset, arvioitiin niiden kokonaiskustannuksiksi noin 700 miljoonaa dollaria eli kustannukset olivat nousseet lopulta moninkertaisiksi. Tähän on arvioitu vaikuttaneen suunnittelu laivan rakentamisen aikana, uudet rakennussäännöt sekä hankkeen kustannusten kontrolloinnin ja rakennusvalvonnan puutteet.

Alusten sarjahankinnasta päätettäessä vuoden 2010 lopussa ei siirrytty yhteen konseptiin kuten vuonna 2009 oli suunniteltu, vaan sopimukset sisälsivät 10 aluksen hankinnan molemmilta toimittajilta eli yhteensä 20 aluksen hankinnan. Yhden aluksen hinnaksi tulee tämän hetkis-

ten tietojen mukaan noin 440 miljoonaa dollaria, jonka perusteella voidaan arvioida, että LCS:ien kehittäminen laivojen osalta on saatu hallittuun vaiheeseen. LCS:n modulaarisen taistelujärjestelmän kustannukset eivät ole kuitenkaan tiedossa, joten taistelualuskokonaisuuden kustannuksia ei voi vielä arvioida.

LCS-hankkeen erityispiirteitä on edellä mainittu kahden konseptin malli sekä aluksen ja perusjärjestelmien sekä taistelujärjestelmän eriyttäminen. Kahden konseptin käyttö johti esimerkiksi siihen, että erilaisten runkojen lisäksi konsepteissa on osittain eri perusjärjestelmiä. Tehäväkohtaisia järjestelmiä on kehitetty erillään laivahankkeesta. Niiden kehittämisessä on edelleen haasteita, ja se vaikuttanee myös laivan perusjärjestelmän ja moduulien yhteensovittamiseen sekä taisteluvalmiuden saavuttamiseen. Toistaiseksi LCS-hankkeen alusmäärän kokonaistavoitteessa, 55 alusta, ei ole tapahtunut muutoksia.

## 5 LAIVATEKNISIÄ RATKAISUJA JA NIIDEN VAIKUTUKSIA OMINAISUUKSIIN

Tässä pääluvussa pyritään havainnoimaan laivateknisten ratkaisujen muutoksia vertailemalla uusia ja aiempia laivoja sekä arvioimaan niiden vaikutuksia laivojen ominaisuuksiin. Edellisessä pääluvussa hankkeet käsiteltiin ajallisessa järjestyksessä. Tässä luvussa laivatekniset ominaisuudet käsitellään siten, että kukin suunnitteluosa-alue käsitellään ensin pienempien alusten osalta ja sitten suurempien alusten osalta.

Perustana teknisille ratkaisuille on edellisessä pääluvussa käsitellyt vaatimukset. LCS:n keskeisiä laivaan kohdistuvia vaatimuksia oli erittäin suuri nopeus ja modulaarisen taistelujärjestelmän käyttö sekä pieni miehistö. DDG-1000:n keskeisiä laivaan kohdistuvia vaatimuksia siihen sijoitettavan taistelujärjestelmän lisäksi olivat alhainen heräte, miehistön lukumäärän pienentäminen sekä reunaehtona sähköisen koneiston käyttäminen. Taistelujärjestelmään liittyvä keskeinen muutos oli kahden suuren 155 mm tykin sisällyttäminen hävittäjätyyppiseen alukseen.

Laivateknisten ratkaisujen yhteydessä esitettävissä taulukoissa on alusluokkia edustavien yksittäisten alusten tietoja. FFG-57 edustaa FFG-7-luokkaa (pitkä runkoinen versio) ja DDG-79 edustaa DDG-51-luokkaa (Flight IIA). Muilla aluksilla tunnus vastaa alusluokan tunnusta. Kuten jo tutkimuksen alussa todettiin, teknisiä tietoja kerättiin useista lähteistä. Päämittojen osalta ensisijaisena lähteenä pyrittiin käyttämään Naval Vessel Register:n (NVR) tietoja. Koonnos laivojen teknisistä tiedoista on liitteenä 2. Siinä ja tekstin yhteydessä esitettävissä taulukoissa tyhjät kohdat DDG-1000:n sarakkeessa merkitsevät kyseisen tiedon puuttumista. LCS-2:n osalta uppouman tilavuuteen liittyviä arvoja ei ole laskettu, koska osa sen uppouman tilavuudesta on sivurungoissa. Yleisesti laivatekniikan alalla hyväksyttyjä asioita on käsitelty muun muassa lähteissä [61, 62, 63, 120, 121, 133].

### 5.1 Päämitat ja runkomuoto

Laivan päämitat ja runkomuoto vaikuttavat erityisesti laivan hydrodynaamisiin ominaisuuksiin. Yleisesti laivan runkomuodon keskeinen suure hydrodynaamisen suunnittelun kannalta on kulkuvastus. Sen lisäksi joudutaan huomioimaan myös muita hydrodynaamisia ominaisuuksia kuten vakavuus- ja merikelpoisuusominaisuuksia ja ohjailuominaisuuksia sekä muita laivan ominaisuuksia kuten paino ja painopiste, hyötykuorman vaatima tila sekä mahdollisuus toimivaan yleisjärjestelyyn. [69, 133]

Edellä mainittujen ominaisuuksien saavuttamiseksi keskeinen konseptisuunnittelun tehtävä on aluksen päämittojen määrittäminen, joka voidaan tehdä usealla eri tavalla [133]. Laivan päämitat perustuvat laivan suunnitteluvesiviivalta (DWL) mitattuihin laivan rungon pituuteen  $L$ , leveyteen  $B$  ja syvyyteen  $T$  sekä laivan uppouman tilavuuteen  $\nabla$ . Oheisessa taulukossa (Taulukko 5) on esitetty alusten päämitat sekä rungon suurin pituus ( $L_{OA}$ ), rungon suurin leveys ( $B_{MAX}$ ) sekä kulkusyväys eli suurin syväys ( $T_{MAX}$ ). Viimeisimpään voi vaikuttaa esimerkiksi kaikumittain tai potkurit, jotka ulottuvat aluksen perustason alapuolelle.

Taulukko 5. Alusten päämitat sekä suurimmat mitat.

	FFG-57	LCS-1	LCS-2	DD-963	DDG-79	DDG-1000
$L_{OA}$ [m]	138	115	127	172	155	183
$L_{DWL}$ [m]	124	99	118	161	144	179
$B_{MAX}$ [m]	14,3	17,5	31,6	16,8	20,1	24,5
$B_{DWL}$ [m]*	13,9	13,1	10,9	16,8	18,0	23,2
$T_{MAX}$ [m]	7,9	4,3	4,3	9,8	10,1	8,5
$T_{DWL}$ [m]	5,2	4,3	4,3	7,0	7,3	6,7
$\nabla$ [m <sup>3</sup> ]	4061	3212	3028	8957	9431	14209
* LCS-2 keskirunko						

Laivan kulkuvastus tietyllä nopeudella riippuu keskeisesti dimensiottomasta Frouden luvusta  $Fn$ , joka lasketaan kaavalla

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

jossa  $V$  [m/s] on laivan nopeus,  $g$  on maanvetovoiman kiihtyvyys ja  $L$  on laivan vesiviivan pituus. Käytännössä laivan vesiviivan pituudella on siis merkittävä vaikutus laivan kulkuvastukseen tietyllä nopeudella. Yksiselitteistä  $Fn$  rajaa uppoumarunkoisen aluksen (nostovoima johtuu levossa olevan veden paineesta eli nosteesta) ja puoliliukuvan aluksen (osa nostovoimasta johtuu veden virtauksesta) välille ei voida asettaa, mutta karkeasti  $Fn \approx 0,50$  yli menevillä nopeuksilla alus siirtyy puoliliukuvalla alueelle. Yleisesti käytettävälle käsitteelle nopea uppoumarunkoinen alus ei ole tarkkaa määritelmää, mutta  $Fn \approx 0,30$  ylittäviä aluksia voidaan pitää nopeina uppoumarunkoisina aluksina.

Aluksien suurimpien nopeuksien ( $V_{MAX}$ ) ja risteilynopeuksien ( $V$ ) Frouden luvut ovat seuraavassa taulukossa (Taulukko 6). FFG-7:n ja hävittäjien suurimmat nopeudet ovat nopealla uppoumarunkoalueella ja LCS:ien vastaavat nopeudet ovat puoliliukuvalla alueella. Sotalaivat operoivat käytännössä paljon enemmän risteilynopeudella tai sitä alemmilla nopeuksilla kuin suurimmalla nopeudella. Tähän perustuen kaikki tarkasteltavat alukset toimivat enimmäkseen

uppoumarunkonopeusalueella. Jo tässä vaiheessa voidaan todeta, että kaikissa aluksissa on upotettu peräpeili, jossa peräpeilin ja pohjan liitoskohdan kulma on staattisessa tilanteessa veden alla. Upotettua peräpeiliä käytetään yleisesti aluksissa, joiden nopeus on  $Fn > 0,3$ . Tarkoituksena on, että virtaus irtaana suoraviivaisesti peräpeilin alareunasta jättäen peräpeilin kuivaksi suuremmilla nopeuksilla. Tämä vaikuttaa kulkuvastukseen edullisesti. [69, 133]

Taulukko 6. Aluksien nopeudet ja Frouden luvut.

	FFG-57	LCS-1	LCS-2	DD-963	DDG-79	DDG-1000
$V_{MAX}$ [kn]	29,0	45,0	45,0	32,5	31,0	30,0
$Fn_{MAX}$	0,43	0,74	0,68	0,42	0,42	0,37
$V$ [kn]	20	18	20	20	20	
$Fn$	0,29	0,30	0,30	0,26	0,27	

Laivan päämitat ja päämittasuhteet määrittävät pitkälti laivan teknisen suorituskyvyn eli päämittasuhteiden avulla voidaan painottaa eri ominaisuuksia [133]. Tässä tutkimuksessa päämittasuhteita käytettiin runkomuotojen arvioinnin apuvälineenä. Käsiteltäviä laivan rungon mitasuhteita olivat (sulkuihin on merkitty lähteissä [62, 121] esitettyjä viitearvoja fregateille ja hävittäjille, pituus-syväyssuhteen viitearvo on lähteestä [133] ja se on yleinen vaihteluväli kaikille laivoille):

$C_B$	Uppouman täyteläisyysaste (0,46...0,54), joka kuvaa laivan keulan ja perän hoikkuutta suhteessa laivan leveyden ja syväyksen muodostamaan tasoon. Se vaikuttaa kulkuvastukseen, suuntavakavuuteen ja rungon vedenalaisen osan tilavuuteen. Sen arvo yleensä alenee uppoumarunkoaluksen nopeuden kasvaessa.
$L/B$	Pituus-leveyssuhde (8,0...9,5). Se vaikuttaa laivan alkuvakavuuteen (kallistus pienillä kulmilla), aallokon lisävastukseen ja suuntavakavuuteen.
$B/T$	Leveys-syväyssuhde (2,8...3,5). Se vaikuttaa muun muassa vakavuuteen, keinnuntaan ja kulkuvastukseen.
$L/T$	Pituus-syväyssuhde (20...28). Se vaikuttaa muun muassa aalloista johtuviin paineiskuihin keulan alueella.
$L/\nabla^{1/3}$	Hoikkuusluku (7,0...7,5). Se vaikuttaa vastukseen ja sen arvo suurenee uppoumarunkoaluksilla nopeuden kasvaessa noin $Fn \approx 0,50$ asti. Kun $Fn$ ylittää arvon 0,40 tulee hoikkuusluvusta merkittävin vastukseen vaikuttava parametri pyöreä palteisilla (pohjan ja laidan liitoskohta) aluksilla.



Uppouman täyteläisyysaste lasketaan kaavalla

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{DWL} B_{DWL} T_{DWL}} \quad (2)$$

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että edellä mainituilla parametreilla voidaan arvioida erityisesti kulkuvastusta sekä vakavuus- ja keinuntaominaisuuksia. Mittasuhteiden numeeriset arvot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 7).

Taulukko 7. Mittasuhteita.

	FFG-57	LCS-1	LCS-2	DD-963	DDG-79	DDG-1000
$C_B$	0,45	0,58		0,47	0,50	0,51
$L/B^*$	9,0	7,5	10,8	9,6	8,0	7,7
$L\nabla^{1/3}$	7,8	6,7		7,8	6,8	7,4
$B/T^*$	2,7	3,1	2,5	2,4	2,5	3,4
$L/T^*$	24	23	27	23	20	27
* LCS-2 keskirunko						

Edellä esitettyjen mittasuhteiden käyttö perustuu julkisista lähteistä saataviin tietoihin. Runkomuotojen arviointiin olisi hyödyllistä käyttää myös muita parametreja, mutta niiden käyttö edellyttäisi tarkempia tietoja muun muassa laivan pääkaaresta, sivukorkeudesta, vesiviivapinta-alasta ja uppouman tilavuuden painopisteen pitkittäisestä sijainnista. Mittasuhteet antavat perusteita runkomuotojen arvioinnille, mutta pelkästään niiden perusteella ei voi tehdä ehdottomia johtopäätöksiä tietyn rungon ominaisuuksista. Muutokset esimerkiksi aluksen uppoumassa, erityisesti johtuen elinjakson aikana tehtävistä muutoksista ja niistä aiheutuvista painon lisäyksestä, vaikuttavat myös mittasuhteisiin, joten tässä työssä esitetyt arvot ovat suuruusluokkaa kuvaavia arvoja.

### 5.1.1 Päämitat ja runkomuoto: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7

LCS-1:n lähtökohtana on ollut nopeudesta johtuen puoliliukuvan rungon käyttäminen. Kyseiselle runkotyypille on tyypillistä suurempi suhteellinen leveys (LCS-1:n  $L/B = 7,5$ ) verrattuna nopeaan uppoumarunkoiseen alukseen (FFG-7:n  $L/B = 9,0$ ), perään jatkuva V-muotoinen pohja sekä terävä palle eli pohjan ja laidan liitoskohta (Kuva 18), joilla pyritään dynaamisen paineen aikaansaamiseen ja siten perän vajoamisen estämiseen suurella nopeudella. Nopeilla uppoumarunkoaluksilla kuten FFG-7:llä palle on yleensä pyöreä (Kuva 19) pallepyörteiden estämiseksi ja siten virtauksen parantamiseksi. Terävä palle sitä vastoin aiheuttaa vastusta lisääviä pyörteitä uppoumanopeuksilla. Myös LCS-1:n suurempi pituus-leveys suhde ( $B/T = 3,1$ ) sekä uppouman täyteläisyys ( $C_B = 0,58$ ) ja pienempi hoikkuusluku ( $L/\nabla^{1/3} = 6,7$ )

verrattuna FFG-7:än ( $B/T = 2,7$ ,  $C_B = 0,45$  ja  $L/\nabla^{1/3} = 7,8$ ) indikoivat LCS-1:n suurempaa rungon vastusta uppoumanopeuksilla. Sekä LCS-1:llä että FFG-7:llä on kallistettu keularanka ilman bulbia tai kaikumittaimen muotosuoja. FFG-7:n kaikumittain on sijoitettu aluksen pohjalla olevaan muotosuojaan.



Kuva 18. LCS-1-luokan V-pohjaisen ja teräväpalteisen rungon vesiviivan alapuolinen osa perästä katsottuna rakennusvaiheessa [67].



Kuva 19. FFG-7-luokan kapean ja edelleen perää kohti kapenevan pyöreäpalteisen rungon perä.

Leveä runko on vakaampi kuin kapea runko, jolloin keinuntaliikkeen amplitudi eli laajuus on pienempi. LCS-1:n suurempi leveys-syväyssuhde verrattuna FFG-7:än indikoi suurempaa keinunnan taajuutta, jolloin siis keinuntajakso on lyhyt ja liikkeet voivat olla nopeampia. Terävä palle vaimentaa keinuntaa paremmin kuin pyöreä palle ja se lisää vakautta dynaamisen paineen ansiosta suuremmilla nopeuksilla. LCS-1:ssä on ulospäin kallistettut kyljet (flare), joka lisää vesiviivan leveyttä ja siten uppouman tilavuutta ja parantaa poikittaista vakavuutta vuototilanteissa. Leveydestä johtuen LCS-1:n runko on suhteellisen tilava, etenkin kun se jatkuu leveänä perään asti, mikä on mahdollistanut lastitilan ja peräporttien sijoittamisen alukseen [28]. Perän leveys vaikuttaa myös helikopterikannen pinta-alaan.

LCS-2:ssa (Kuva 20) kulkuvastusta on pyritty pienentämään erittäin kapealla (LCS-2:n keskirungon  $L/B = 10,8$ ) ja pitkällä, suurin piirtein saman uppoumaiseen LCS-1:en verrattuna vesiviivaltaan lähes 20 % pidemmällä rungolla. Yksirunkoisena alus ei enää olisi riittävän vakaa. LCS-2:ssa onkin käytetty trimaraani- eli kolmirunkoratkaisua, jossa sivurunkojen tehtävänä on toimia ”apupyörinä”. Ne ovat huomattavasti lyhyemmät ja tilavuudeltaan pienemmät kuin keskirunko. Niiden sijainti aluksen peräosassa estänee perän vajoamista, etenkin kun niiden tilavuus kasvaa voimakkaasti suunnitteluvesiviivan yläpuolella. Keskirungon ja apurunkojen aaltojärjestelmien yhteisvaikutus tietyillä nopeuksilla pienentää kulkuvastusta [28]. Aluksessa on myös bulbi eli keulapaksunnos, jonka muodostaman aaltojärjestelmän yhteisvaikutuksella keulan aaltojärjestelmän kanssa pyritään pienentämään aallonmuodostusta. Bulbi joudutaan kuitenkin optimoimaan tietyille nopeusalueelle, joten se voi vaikuttaa kulkuvastukseen myös huonontavasti muilla nopeuksilla. Monirunkoratkaisun eräs huono puoli verrattuna yksirunkoalukseen on suurempi märkäpinta-ala, josta johtuen kitkavastus on suurempi alhaisilla nopeuksilla [69].

LCS-2:n poikittainen vakavuus on suuren kokonaisleveyden vuoksi hyvä, mutta siitä johtuva erittäin suuri keinunnan ominaistaajuus voi johtaa lyhyessä aallokossa laajuudeltaan pieneen, mutta suuri nopeuksiseen, epämiellyttävään keinuntaan. Aluksesta olevien kuvien perusteella aluksen keulan vesiviiva on erittäin kapea eikä keulan alueella ole sivurunkojen tuomaa lisäuppoumaa. Tämä voi johtaa jyskinnän eli pitkittäissuuntaisen kulmaliikkeen kasvuun. Laivaston internetsivuilla olleen kirjoituksen [10] mukaan aluksessa onkin useissa kuvissa näkyvät evät jyskinnän rajoittamiseksi. Kirjoituksessa mainitaan myös aluksen tietokoneohjatusta vakautusjärjestelmästä sekä siihen liittyen evien käytöstä keinunnan vaimennukseen, jonka pitäisi trimaraanilla olla hyvä pois lukien suuritaajuinen, lyhyt aallokko. Aluksen keskirungon vedenalaisen osan kapeuden vuoksi se on tilana ahdas. Toisaalta keskirungon ja sivurunkojen välinen rakenne mahdollistaa veden yläpuoliseen rungon osaan aluksen pituuteen nähden valtavat lastitilan noin puolen laivan pituisella alueella sekä pinta-alaltaan suuren helikopterikannen.



Kuva 20. LCS-2 [3].

Trimaraanirunkoratkaisun selvä ero puoliliukuvaan runkoon on suuren nopeuden pienempi kulkuvastus ja sitä kautta myös pienempi kuljetuskoneiston tehontarve (LCS-1:n teho 85,0 MW ja LCS-2:n teho 62,2 MW). Tässä yhteydessä todettakoon, että edellä esitetyt tehot ovat hävittäjäkokoluokkaa ja valtavia fregattikokoluokan aluksille, esimerkiksi FFG-7:n kuljetuskoneiston teho on ”vain” 30,6 MW. Tätä voi myös havainnollistaa teho-painosuhteella: LCS-1:llä se on 25,8 kW/t ja LCS-2:lla vastaavasti 20,0 kW/t, kun nopealla uppoumarunkoisella aluksella se on tyypillisesti 5...10 kW/t. Toisaalta LCS-alusten runkomuodot on jouduttu valitsemaan suuren nopeuden perusteella, jolloin niiden vastusominaisuudet eivät ole parhaimmillaan hitaammilla nopeuksilla, joilla alukset todennäköisesti eniten operoivat.

Edellä olevaan tarkasteluun perustuen molempien aluksien, erityisesti LCS-2:n, vakavuus on hyvä esimerkiksi helikopterioperointiin. FFG-7:n osalta, joka ei ollut rungon kapeudesta johtuen erityisen vakaa, helikopterioperointikykyä parannettiin aikoinaan lisäämällä alukseen

keinunnanvaimennuseväkkaajat sekä RAST-järjestelmä (Recovery, Assistance, Securing, Travelling), joka mahdollistaa helikopterin lähdön ja laskeutumisen myös suurilla keinuntakulmilla [137].

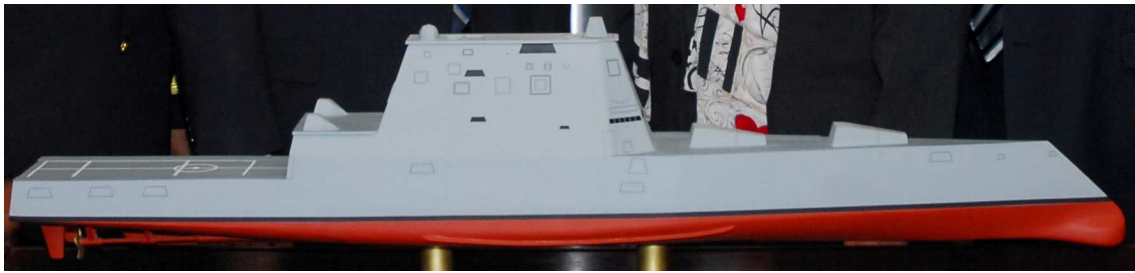
Molemmissa LCS:ssä on runkoratkaisuista johtuen paljon tilaa verrattuna kapeisiin uppoumarunkoaluksiin. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna alukset vaikuttavat ylivertaisilta verrattuna perinteisesti tilavuusrajoitteisiin [30] pintataistelualuksiin. Tämä on kuitenkin vain osa totuutta, sillä suuri nopeus vaikuttaa aluksen painoon rajoittavasti. Tähän aiheeseen palataan jäljempänä.

### 5.1.2 Päämitat ja runkomuoto: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963

Kaikki kolme hävittäjää ovat nopeita uppoumarunkoaluksia, tosin DDG-1000:n suurimman nopeuden Frouden luku (0,37) on hieman alempi kuin DDG-51:n ja DD-963:n (0,42). DDG-1000 on uppoumaltaan (noin 14600 tonnia) huomattavasti suurempi kuin DDG-51 (noin 9700 tonnia) ja DD-963 (noin 9200 tonnia), joten DDG-1000:n runko on tilavuudeltaan ja siitä johtuvine mahdollisuuksineen eri luokassa kuin vanhemmat hävittäjät.

DDG-1000:n runkomuodon hallitseva piirre on sisäänpäin kallistetut kyljet (tumblehome) yhdessä sisäänpäin kallistetun kansirakennuksen kanssa. Tumblehome-runkomuodossa aluksen suurin leveys on suunnitteluvesiviivan alapuolella. Sekä kylkien että kansirakennuksen sisäänpäin kallistus tilanteessa, jossa alus ei juuri keinu, estää pystysuoran tasonpinnan muodostumisen ja siten vähentää havaittavuutta tutkalla. Jotta kyseiseen tilanteeseen päästäisiin, on aluksen keinunnanvaimennus toteutettu tilaa vievillä ja painoa lisäävillä painolastitankeilla. Tankkien keskeinen etu on, että ne vaimentavat keinuntaa tehokkaasti kaikilla nopeuksilla. Toisaalta meritorjuntaohjusten aiheuttamien vaurioiden vähentämiseksi tärkeitä tiloja haluttiin sijoittaa vesiviivan alapuolelle, mikä on edellisten seikkojen lisäksi vaikuttanut aluksen suureen uppoumaan eli rungon vedenalaisen osan tilavuuteen. Aluksen taaksepäin kallistettu keulamuoto (wave-piercing bow, ram bow, Kuva 21) johtuu sisäänpäin kallistetuista kyljistä. Se tosin auttaa myös aluksen tutkapoikkipinta-alan muutoksen rajoittamisessa, koska keulassa ei ole vesiviivan yläpuolella kasvavaa reserviuppoumaa. Tästä johtuen keulasta tulevat aallot eivät nosta voimakkaasti keulaa, vaan alus kulkee enemmän aaltojen läpi kuin normaalikeulainen alus. Tällöin aluksen pitkittäinen kulmaliike eli jyskintä on vähäisempää. Toisaalta laivan kannelle tulee vettä (green water) huomattavasti helpommin. Yleisesti ottaen laiva-suunnittelussa vältetään sisäänpäin kallistettuja kylkiä ja taaksepäin kallistettua keulaa, koska vuototilanteessa aluksen vesiviivapinta-ala pienenee ja alus vajoaa nopeammin kuin pys-

tysuorilla tai ulospäin kallistetuilla kyljillä varustetut alukset, joiden vesiviivapinta-ala vastaavasti pysyy samana tai kasvaa. [28]



Kuva 21. DDG-1000:n pienoismalli valmistussopimuksen allekirjoitustilaisuudessa [93].

DDG-1000:n leveys-syväyssuhde on huomattavasti suurempi ( $B/T = 3,4$ ) kuin DDG-51:n ja DD-963:n vastaavat parametrien arvot ( $B/T = 2,5$  ja  $2,4$ ). Vain lukuarvoja tarkasteltaessa vaikuttaisi siltä, että DDG-1000 on vakaampi ja sen rungon keinunnanvaimennus olisi suurempi kuin vanhemmilla aluksilla. Kaikilla kolmella aluksella on kuitenkin erilainen kyljen muoto: DDG-1000:lla sisäänpäin kallistettu (heikentää vakavuutta kallistuksessa), DD-963:lla pysty (ei merkittävää vaikutusta) ja DDG-51:lla ulospäin kallistettu (lisää vakavuutta kallistuksessa). Kohoiluliikkeessä DDG-1000:n veden alla sijaitseva suurin leveys vaikuttaa pystykihtyvyyteen alentavasti. DDG-1000:ssa, kuten jo aiemmin todettiin, on painolastitankkeihin perustuva keinunnanvaimennus. Pienoismallikuvan (Kuva 21) perusteella alukseen tulisi myös pallekölit. Sekä DDG-51:ssä että DD-963:ssa keinunnanvaimennus on toteutettu palleköleillä, eikä niissä ole fregattikokoluokan aluksille tyypillisiä evävakaimia. DDG-51:ssä on peräsiimiin yhdistetty vakautusjärjestelmä [137]. DD-963:n osalta evävakaimia pidettiin vedenalaisena äänilähteenä, jotka eivät sopineet aluksen meluvaatimuksiin [44].

DDG-1000:sta saatavilla olevien pienoismallikuvien (Kuva 22) perusteella aluksessa olisi niin sanottu alavirtausperä. Sitä käytetään yleisesti nopeissa uppoumarunkoaluksissa kuten matkustaja-autolautoissa. Sen hyviä puolia ovat vastukseen ja propulsioon liittyvät ominaisuudet sekä leveä peräpeili, joka mahdollistaa esimerkiksi peräportin käytön [70, 133]. Alavirtausperällä varustetun aluksen perän vajoama on nopeuden kasvaessa huomattavasti pienempi kuin jyrkällä V-muotoisella perällä, joten aluksen kulkuasento pysyy vastuksen kannalta edullisena [33]. Alavirtausperään liittyy myös ongelmia, erityisesti aluksen vakavuuden heikentyminen aallokossa vesiviivapinta-alan äkillisten muutosten vuoksi sekä peräalueen paineiskut (aftbody slamming) [70, 133].



Kuva 22. DDG-1000:n leveä alavirtausperä [17]. Kuva on suunta-antava, koska kyseessä ei ole virallinen pienoismalli.

DDG-1000:lle tehdyissä simuloinneissa onkin ilmennyt vakavuusongelmia kovassa merenkäynnissä, tosin simulointiohjelman on väitetty yliarvioivan laivan taipumusta kaatua. Laivasto on jatkanut laivan vakavuuden tarkastelua kovassa merenkäynnissä suurella nopeudella mallikokeiden avulla. Kokeiden tarkoituksena on ollut myös simulointiohjelman päivittäminen sekä laivan käsittelyohjeiden laadinta eri merenkäyntitilanteisiin. [108]

Yhdysvaltojen laivaston vanhemmilla aluksilla, kuten DD-963:lla, hydrodynaamisen suunnittelun painopiste oli kulkuvastuksessa. Sen vuoksi ne olivat kapeita ja hoikkia sekä siten oletettavasti rungoltaan tilarajoitettuja. DDG-51 oli ensimmäinen Yhdysvaltojen laivaston alus, jossa merikelpoisuuteen panostettiin erityisesti. Vaikka lähteet eivät asiaa suoraan ilmaise, niin oletettavasti DDG-51:n runkomuodon liikkeitä aallokossa kehitettiin suhteessa vanhempiin hävittäjiin ja siten myös suhteessa DD-963:en. Pituus-leveyssuhteen (DD-963:n  $L/B = 9,6$  ja DDG-51:n  $L/B = 8,0$ ) indikoima runkomuodon muutos näkyi ulospäin leveyden lisäksi ulospäin kallistettuina kylkinä (Kuva 23), joilla pyrittiin myös vähentämään aluksen havaittavuutta tutkalla. Koska DDG-51:n ylärakenne valmistettiin teräksestä, oli aluksen painopiste korkeammalla kuin alumiinirakenteella. Myös tämän vuoksi leveyttä oli kasvatettava vakavuuden takaamiseksi. Vaikka DDG-51 onkin pituuteen nähden leveämpi kuin aiemman alukset, sitä kavennettiin suunnittelun aikana kulkuvastuksen pienentämiseksi. Tämän vuoksi aluksen vakavuus heikkeni alun perin suunnitellusta. Riittävän reserviupouman takaamiseksi aluksen ketkaviivaa jouduttiin nostamaan, jonka voi havaita erityisesti perässä, jossa ketkaviiva ei yleensä nouse [27].

DDG-51:n keula- ja peräkaaret ovat enemmän V-muotoisia perinteisen U-muodon sijasta vedenpinnan yläpuolisen tilavuuden kasvattamiseksi ja siten jyskinnän aiheuttamien kiihtyvyyk-



sien alentamiseksi. Aluksen uppouman tilavuus on korkeammalla, jolloin kasvanut vesivii-  
vapinta-ala rajoittaa kohoilua. Vesiviivapinta-alan täyteläisyyttä on siirretty keulaan päin kei-  
nunnan aiheuttaman kiihtyvyyden pienentämiseksi. [27, 131]



Kuva 23. DDG-51:n ulospäin kallistelut kyljet ja runkomuoto perästä katsottuna.

V-muotoisilla kaarilla keulan alueelle kohdistuva aaltojen aiheuttama paine on suurempi kuin perinteisillä U-muotoisilla kaarilla [133]. Aivan suoraa yhteyttä ei voi asiaa syvällisemmin tuntematta vetää, mutta useiden DDG-51:ien on ilmoitettu kärsineen keula-alueen rakenteellisista vaurioista. Vauriot ovat johtuneet suunnitteluarvot ylittäneistä aaltokuormista ja erityisesti keulaan kohdistuneista paineiskuista (slamming) [16]. DDG-51:n runko on pituuteen nähden syvempi ( $L/T = 20$ ) kuin DDG-1000:lla ( $L/T = 27$ ) ja DD-963:lla ( $L/T = 23$ ), jolloin lähtökohtaisesti riski keulan paineiskuun on suhteessa pienempi.

Hävittäjien yhteinen piirre on keulaan sijoitettu kaikumittain, joka kasvattaa kulkusyväyttä 2...3 m (Kuva 24). Kaikumittaimen muotosuoja ei ole varsinaisesti bulbi, sillä kaikumittain on sijoitettu syvemmälle kuin bulbi eikä sen tarkoituksena ole pinta-aallon muodostaminen. Kaikumittainta ei kannata sijoittaa bulbiin, koska bulbin muodostamat ilmakuplat haittaisivat kaikumittainta ja toisaalta bulbi nousee herkemmin vedenpinnan yläpuolelle jyskinnästä johtuen.





Kuva 24. DDG-51:n kaikumittaimen muotosuoja [138].

Hoikalla ( $L/\nabla^{1/3} = 7,8$ ) ja kevyemmällä DD-963:lla on selvästi pienempi tehontarve (64,2 MW) kuin DDG-51:llä (74,6 MW), jonka hoikkuusluku on 6,8. DDG-1000:n tehontarve (77,5 MW) on samaa luokkaa kuin DDG-51:llä vaikka niiden uppoumassa on merkittävä ero. Hoikemman DDG-1000:n ( $L/\nabla^{1/3} = 7,4$ ) tehontarpeeseen vaikuttanee positiivisesti hieman alempi nopeus yhdistettynä pitkään vesiviivaan ja alavirtausperään sekä taaksepäin kallistetun keulan pieni aallonmuodostus.

Aluksen keula-alueen leveydellä ja vesiviivojen aukeamiskulmalla on merkittävä vaikutus aluksen vastukseen. DDG-51:n aiempaa suurempi leveys sekä vesiviivapinta-alan kasvattaminen keulassa, joka siis lisää vesiviivan aukeamiskulmaa, johtivat aluksen kulkuvastuksen kasvuun verrattuna esimerkiksi DD-963:en. DDG-51 Flight IIA -aluksiin lisättiin perälippa, jonka tarkoituksena on estää perän vajoaminen sekä madaltaa peräaaltoa kulkuvastuksen alentamiseksi [69, 137]. DDG-51:n tapauksessa 1,2 m pituinen lippa lisäsi aluksen suurinta nopeutta 1,6 solmua [23].

DD-963:n suureen pituuteen sekä hoikkaan runkoon vaikutti tavoite huippunopeuden saavuttamisesta neljän kaasuturbiinin sijasta kolmella kaasuturbiinilla, mikä ei kuitenkaan toteutunut siihen liittyvän vaihderatkaisun monimutkaisuuden vuoksi [27]. Toisaalta tehokas keino jyskinnän rajoittamiseksi on aluksen pituuden kasvattaminen, joten suuri pituus oli eduksi myös asetetun nopeusvaatimuksen saavuttamiseen aallokossa. Suuren pituuden yhtenä tarkoituksena oli mahdollistaa riittävät tilat aluksen myöhempiä muutoksia varten.

Suurin piirtein samalla Frouden luvulla toimivien alusten runkojen hyvyttä vastuksen kannalta voidaan arvioida karkeasti aluksen koon eli uppouman  $\Delta$  [t], nopeuden  $V$  [kn] ja kuljetuskoneiston tehon  $P$  [kW] huomioivan niin kutsutun amiralteetin kertoimen  $C_{ADM}$  avulla, joka lasketaan kaavalla:

$$C_{ADM} = \frac{\Delta^{2/3} V^3}{P} \quad (3)$$

Amiralteetin kertoimen kasvaessa rungon kulkuvastusominaisuudet paranevat koska se indikoi pienempää tehontarvetta. Tämän tarkastelun perusteella DD-963 ( $C_{ADM} = 235$ ) oli selvästi paras, DDG-1000 ( $C_{ADM} = 208$ ) oli seuraavana, ja DDG-51 oli selvästi heikoin ( $C_{ADM} = 181$ ). Myös nämä havainnot tukevat aiemmin tehtyjä havaintoja DDG-51:n suuremmasta vastuksesta. Amiralteetin kerroin on kuitenkin varsin herkkä nopeudelle, koska nopeudella on erittäin merkittävä vaikutus aluksen kulkuvastukseen. Edellä olevassa tarkastelussa käytettiin alusten ilmoitettuja suurimpia nopeuksia tai koeajonopeuksia, jotka ovat itse asiassa suurimman nopeuden pienimpiä mahdollisia arvoja. Esimerkiksi DDG-51:n aiemmin mainittu perälippa pienensi rungon kulkuvastusta, jolloin suurin nopeus kasvoi 1,6 solmua ilmoitetusta nopeudesta. Jos tämä nopeuden kasvu huomioitaisiin, olisikin DDG-51:n  $C_{ADM} = 211$ . Tällä amiralteetin kertoimella alkuperäisen suurimman nopeuden (31 solmua) saavuttamiseksi olisi riittänyt noin 64 MW teho noin 75 MW sijasta. Edellä oleva esimerkki osoittaa sen, että pieneltä vaikuttavilla muutoksilla voidaan saada aikaan merkittäviä parannuksia kulkuvastukseen.

## 5.2 Kuljetuskoneisto

Laivan kuljetuskoneiston valinnan lähtökohtana on tarvittava teho, joka määräytyy hydrodynaamisessa suunnittelussa, sekä koneiston käyttöprofiili, johon liittyy muun muassa polttoainetalous [37, 133]. Sotalaivojen osalta myös koneiston aiheuttamat herätteet ovat tärkeitä. Osana laivakokonaisuutta keskeisiä koneistoon liittyviä ominaisuuksia ovat koneiston paino, tilantarve sekä konehuoneiden paikat aluksen yleisjärjestelyssä [37]. Propulsio eli työnnönkehitys vaikuttaa myös laivan kulkusyvyyteen ja ohjailuominaisuuksiin.

Tässä työssä laivan koneistojen arviointi painottui kuljetuskoneiston pääosiin, eli päämoottoreihin, voimansiirtoon ja propulsioon. Myös laivan sähköntekitystä käsitellään hävittäjien osalta johtuen sen suuresta merkityksestä DDG-1000:ssa. Oheisessa taulukossa on alusten kuljetuskoneistojen tehot (Taulukko 8). Erityisen huomattavaa on, että LCS:ien tehot ovat jo aiemmin todetusti samaa suuruusluokkaa kuin hävittäjillä. Taulukossa on myös yhdistelmänä

aiemmin käsitellyt teho-uppoumasuhteet ( $P/\Delta$ ) ja amiraliteetin kertoimet. Tässä yhteydessä todettakoon, että LCS:ien ja FFG-7:n amiraliteetin kertoimien vertailu ei ole mielekäästä johtuen suuresta nopeuserosta.

Taulukko 8. Kuljetuskoneistojen tehot.

	FFG-57	LCS-1	LCS-2	DD-963	DDG-79	DDG-1000
$P$ [MW]	30,6	85,0	62,2	64,2	74,6	77,5
$P/\Delta$ [kW/t]	7,4	25,8	20,0	7,0	7,7	5,3
$C_{ADM}$	206	237	312	235	181	208

### 5.2.1 Kuljetuskoneisto: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7

Molempien LCS:ien kuljetuskoneiston lähtökohtana oli suuren nopeuden saavuttamiseen tarvittava työntö ja siten kuljetuskoneiston suuri teho. Yleisesti ottaen nopeat alukset ovat painokriittisiä [133]. Myös molempien LCS:ien, ja erityisesti LCS-1:n, voidaan olettaa olevan herkempiä painon kasvulle kuin uppoumarunkoalusten. LCS-1:ssä tähän vaikuttaa dynaamisen paineen aiheuttaman nostovoiman rajallisuus ja LCS-2:ssa kapeiden runkojen vesiviivapinta-ala [27]. Koska alukset olivat ainakin osittain painokriittisiä, tuli myös kuljetuskoneiston olla suhteellisen kevyt. Tämän vuoksi molempien LCS:ien kuljetuskoneisto on CODAG (COmbined Diesel And Gas) -tyyppinen yhdistelmäkoneisto, jonka keskeinen tehonlähde on tehokas kaasuturbiini. Yhdistelmäkoneiston nopeakäyntiset dieselmoottorit mahdollistavat pienemmillä nopeuksilla alemman polttoaineen kulutuksen kuin osateholla toimiva kaasuturbiini [37].

Kaasuturbiini (GT, Gas Turbine) on ulkomitoiltaan pieni ja kevyt suhteessa tehoon. Sen keskeisiä huonoja puolia verrattuna dieselmoottoriin on korkea polttoaineen ominaiskulutus, joka kohoa voimakkaasti osatehoilla. Kaasuturbiini vaatii myös suurehkot ilma- ja pakokaasukanavat. Dieselmoottoriin verrattuna kaasuturbiinin herätteet ovat pieniä, joten koneistosta runkoon aiheutuvat värähtelyt ja runkoäänet eivät ole ongelma. Turbiinin ilmaäänitaso on suuri, mutta ääni on korkeataajuinen ja helposti vaimennettavissa. [37]

LCS:ien kulkusyväys haluttiin pitää mahdollisimman pienenä rannikko-opperoinnin vuoksi. Suuren tehon muuttaminen työnnöksi olisi vaatinut erittäin suuret potkurit, koska potkurien kuormittaminen suhteessa niiden pinta-alaan on rajoittunut rakenteellisista syistä johtuen. Esimerkin vuoksi voidaan todeta, että DDG-51:n, jonka kuljetuskoneiston teho on pienempi kuin LCS-1:llä, potkurien halkaisijat ovat 5,2 m (Kuva 23) ja ne ulottuvat 7,6 m syvyyteen. Vesisuihkupropulsio sijoitetaan aluksen vesiviivalle (Kuva 20) ja sen pumpun halkaisija on

potkureihin verrattuna pienempi, joten se soveltuu hyvin aluksiin joiden kulkusyväys on rajoitettu.

Suurilla nopeuksilla vesisuihkun hyötysuhde on parempi kuin potkurien hyötysuhde. Sen muita hyviä puolia ovat muun muassa ohjailuominaisuudet, ja siihen liittyen nopea hätäpysäytys. Vesisuihkupropulsion yhteydessä ei tarvita kulkuvastusta kasvattavia lisäkkeitä kuten peräsimiä ja akselikannakkeita, mutta toisaalta vesisuihkupropulsion kanavassa oleva vesi kasvattaa aluksen painoa. Vesisuihkupropulsion selkeä huono puoli on sen alhainen hyötysuhde pienemmillä nopeuksilla, esimerkiksi sota-alusten risteilynopeuksilla. Järjestelmä vaatii myös sijoittamista varten tilaa peräpeilissä. [37, 57, 70]

Koska vesisuihkun impellerin eli juoksupyörän pyörimisnopeus on suurempi kuin potkurin, on sen aiheuttama ääni korkeataajuisempaa kuin potkurilla. Vesisuihkun väitetään olevan potkuria hiljaisempi yli 20 solmun nopeuksilla. Kyseisillä nopeuksilla tavallisen potkurin kavi-taatio, eli kaasufaasin muodostumisesta seuraavat ilmiöt, aiheuttaa merkittävä melua. Tosin kyseisillä nopeuksilla aluksen äänitaso on korkea jo runkovirtauksenkin vuoksi. Toisaalta vesisuihkun virtauksen osuminen veteen aiheuttaa melua ja se jättää jälkeensä selvästi havait-tavan vaahtoutuneen vanaveden. [29, 30, 70, 114]

LCS-1:n CODAG-yhdistelmäkoneisto sisältää kaksi Rolls-Royce MT30 (á 36,0 MW) -kaasuturbiinia sekä kaksi Colt-Pielstick 16PA6B STC (á 6,5 MW) nopeakäyntistä dieselmoottoria. Propulsiolaitteina on neljä KaMeWa 153SII -vesisuihkua [38]. Vastaavasti LCS-2:n kuljetuskoneisto sisältää kaksi General Electric LM2500 (á 22,0 MW) -kaasu-turbiinia sekä kaksi MTU 20V8000 M90 (á 9,1 MW) nopeakäyntistä dieselmoottoria. Propulsiolaitteina on neljä Wärtsilä-Lips-vesisuihkua (2x160E ja 2x150E) [3].

Päämoottoreita ja propulsiolaitteita yhdistävästä voimansiirrosta on varsin niukasti julkista tietoa. LCS-1:n kuljetuskoneistotoimittajan Rolls-Royce:n sidosryhmälehdessä [126] mukaan aluksessa on pitkälle kehitetty CODAG-järjestely kuitenkin sen tarkemmin erittelemättä voimansiirtoa. Lähtökohtana voidaan pitää, että voimansiirto on mekaaninen, koska lähteissä ei ole mainintaa harvinaisemmasta sähköisestä voimansiirrosta ja toisaalta mekaaninen voimansiirto on selvästi kevyempi [37] kuin sähköinen.

Hieman samantyyppisten kuljetuskoneistojen voimansiirrosta on olemassa vaihtoehtoisia ratkaisuja. Lähteessä [37] on esimerkki yhteensä neljällä kaasuturbiinilla ja neljällä vesisuihkulla varustetun nopean katamaraanin eli kaksirunkoisen aluksen vaihteistosta. Kyseisessä alukses-

sa on suhteellisen monimutkainen alennusvaihteisto, jossa kaksi eritehoista kaasuturbiinia on kytketty samaan vaihteeseen irrotuskytkimillä. Vaihteesta lähtee akselit kahdelle vesisuihkulle, eli aluksessa on kaksi erillistä edellä kuvattua kahden moottorin, yhden vaihteen ja kahden vesisuihkun yhdistelmää. Yhtä yhdistelmää pystyy ajamaan jommalla kummalla tai molemmilla kaasuturbiineilla. Tässä tapauksessa kaasuturbiinien tehoero on suhteellisen pieni (á 22 MW ja á 17 MW). Toinen toteutustapa on lähteessä [123] olevan nopean yksirunkoisen aluksen kaksi kaasuturbiinia (á 25 MW) ja kaksi nopeakäyntistä dieselmoottoria (á 8 MW) sekä neljä vesisuihkua. Tässä tapauksessa jokaiselle moottorille on oma alennusvaihte sekä siihen liitetty vesisuihku. Kaasuturbiinien vesisuihkut ovat suurempia (KaMeWa 200) kuin dieselmoottorien (KaMeWa 140).

FFG-7:n kuljetuskoneisto perustuu kahteen General Electric LM2500 (á 15,3 MW) -kaasuturbiiniin (COGAG, COmbined Gas And Gas), mekaaniseen alennusvaihteeseen ja vain yhteen akselilinjaan ja potkuriin [40]. Yleensä fregateissa ja hävittäjissä on kaksi akselilinjaa potkurin koon rajoittamiseksi ja toimintavarmuuden lisäämiseksi. Kaksipotkurisen aluksen käsittely satamassa hitailla nopeuksilla on myös helpompaa kuin yksipotkurisen aluksen. Yhden akselin ratkaisuun päädyttiin lähinnä kustannussyistä. Aluksen toimintavarmuus pyrittiin takaamaan kahdella alaslaskettavalla sähköisellä potkurimoottorilla, joilla alus saavuttaa tyyneessä vedessä noin 5...6 solmun nopeuden [27]. Ainakin LCS-2:ssa on vastaavan tyyppinen ratkaisu [3]. Yksipotkuriratkaisun vuoksi FFG-7:n 5-lapaisen säätösiipipotkurin koko on varsin suuri; sen halkaisija on 5,5 m. Tästä johtuen FFG-7:n kulkusyväys on myös huomattavan suuri: se on peräti noin 3,5 m suurempi kuin LCS:llä, vaikka FFG-7:n rungon syväys on vain noin 1 m suurempi kuin LCS:n. Toisaalta yhden suuren potkurin käyttö on potkurin hyötysuhteen kannalta paras ratkaisu [70].

FFG-7:n suurin nopeus yhdellä kaasuturbiinilla on 25 solmua [137], siis vain neljä solmua vähemmän kuin kaksinkertaisella teholla. Kyse on aivan normaalista ilmiöstä, joka johtuu kulkuvastuksen suuresta kasvusta välillä  $F_n = 0,35 \dots 0,50$ . Koska kaasuturbiinin ominaiskulutus kasvaa voimakkaasti osatehoilla, on FFG-7:n suhteellinen polttoaineen kulutus oletettavasti varsin suuri esimerkiksi noin 20 solmun risteilynopeudella vaikka potkurin ja rungon hyötysuhteet olisivatkin hyviä. Oletuksena on, että molempien LCS:ien CODAG-koneistot mahdollistavat moottoreiden joustavamman käytön, esimerkiksi pelkillä dieselmoottoreilla ajamisen hitaammalla nopeudella, jolloin moottorien hyötysuhde on parempi kuin kaasuturbiinilla. Hitaammilla nopeuksilla LCS:ien hyötysuhdetta kuitenkin laskee ja siten polttoaineen kulutusta kasvattaa vesisuihkupropulsion alhainen hyötysuhde sekä suuremmille nopeuksille optimoidut runkomuodot (Alaluku 5.1.1).

### 5.2.2 Kuljetuskoneisto: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963

DDG-1000:n kuljetuskoneisto perustuu jo vaatimuksissa (Alaluku 4.1.2) esitettyyn laajempaan ratkaisuun, eli integroituun sähköjärjestelmään (Integrated Power System, IPS). Tähän vaatimukseen on liittynyt tulevaisuuden mahdolliset sähköä käyttävät suurtehoaseet ja niiden energiansaanti [108].

Integroitu sähköjärjestelmä perustuu voimalaitosperiaatteeseen, jossa laivan potkureita ja muita laitteita käyttävät generaattorit voivat olla samoja laitteita [37]. Yhdysvalloissa voimalaitosperiaatetta kutsutaan siis integroiduksi sähköjärjestelmäksi erotuksena pelkästään sähköiselle kuljetuskoneistolle (Electric Drive), jossa kuljetuskoneiston sähköinen voimansiirto toteutetaan erillisessä sähköverkossa [37, 104]. Integroitu sähköjärjestelmä liittyy ”All-electric Ship” eli ”täysin sähköinen laiva”-ajatukseen. Se ei rajoitu pelkästään sähköntuottamiseen, vaan se sisältää myös tavoitteen aiemmin muulla tavalla käytettyjen laitteiden muuttamisesta sähkökäyttöisiksi [104].

Sähköisessä voimansiirrossa generaattorilla (eli moottori-generaattori yhdistelmällä) tuotettu sähköenergia siirretään sähköverkossa, joka sisältää kytkentätauluja, muuntajia ja muita sähkötekniisiä laitteita, moottorin ohjauslaitteelle (esimerkiksi taajuusmuuttaja) ja siitä edelleen sähkömoottorille, joka pyörittää potkuriakselia [37, 104]. Yleisesti ottaen kokonaan sähköisen koneiston käyttöä pintataistelualuksissa on rajoittanut olemassa olevien sähkötekniisten ratkaisujen suuri paino suhteessa niiden tehoon. Esimerkkinä yksittäisten komponenttien painosta on 20 MW oikosulkumoottorin noin 80 tonnin paino verrattuna vastaavan tehoisen kaasuturbiinin (ilman vaihdetta) noin 16 tonnin painoon [37]. Eräänä nyrkkisääntönä onkin pidetty, että aluksen tehontarve suhteessa uppoumaan tulee olla pienempi kuin 6 kW/t, jotta kokonaan sähköinen kuljetuskoneisto voidaan toteuttaa koetellulla tekniikalla [7]. DDG-1000:lla kyseinen teho-uppoumasuhde on 5,3 kW/t, mutta DDG-51:lla 7,7 kW/t ja DD-963:lla 7,0 kW/t. Tässä yhteydessä on syytä todeta, että osittain sähköinen kuljetuskoneisto hidasta, hiljaista ajoa varten on helpompi toteuttaa. Esimerkkinä tästä on brittiläinen fregatti Type 23 (4300 tonnia) [137].

Sähköinen voimansiirto mahdollistaa generaattorien vapaamman sijoittelun verrattuna mekaanisen voimansiirron päämoottoreihin eikä päämoottorien sekä potkurin välinen akselilinja ole tilojen suunnittelussa määräävä tekijä [104]. Esimerkiksi DD-963:en ei pystytty sijoittamaan modifioinnin yhteydessä VLS-järjestelmää aluksen peräosaan potkuriakselien vuoksi [27]. DDG-1000:ssa on kuitenkin perinteinen konehuonejärjestely, koska päämoottorien pa-

kokaasukanavat haluttiin sijoittaa lämpöherätteen pienentämiseksi aluksen keskiosassa olevaan kansirakennukseen [52].

Sähköisen voimansiirron häviöt (7...10 %) ovat suuremmat kuin mekaanisessa voimansiirroksa (noin 2 %), mikä lisää polttoainekustannuksia suurimmalla nopeudella [37]. Kokonaan sähköisessä voimansiirroksa voimalaitoksessa on yleensä useita generaattoreita, esimerkiksi kaksi suurta ja kaksi pientä generaattoria. Tällöin kuljetuskoneiston osatehoja käytettäessä risteilynopeuksilla käynnissä olevien generaattorien lukumäärä voidaan optimoida. DDG-1000:n osalta on arvioitu, että tällä saadaan mekaaniseen voimansiirtoon verrattuna 15...20 % polttoaineensäästö laajalla nopeusalueella [52]. Yleisesti ottaen sähköistä voimansiirtoa pidetään hiljaisena, mutta taajuusmuuttajat voivat aiheuttaa kuuloalueen taajuudella melua, joka voi edetä myös runkoäänenä [37]. Koneiston aiheuttamaan värähtelyyn ja meluun vaikuttaa päämoottorien tyyppi (diesel tai kaasuturbiini). Kokonaisuutena voimalaitosperiaatteen väitetään lisäävän monimutkaisuutta sekä tärkeiden komponenttien lukumäärän että laivansähköverkon osalta. Toisaalta sen väitetään olevan huoltovapaampi ja automatisoidumpi kuin mekaanisen voimansiirron, ja siten vaikuttavan alentavasti henkilöstömäärään [104].

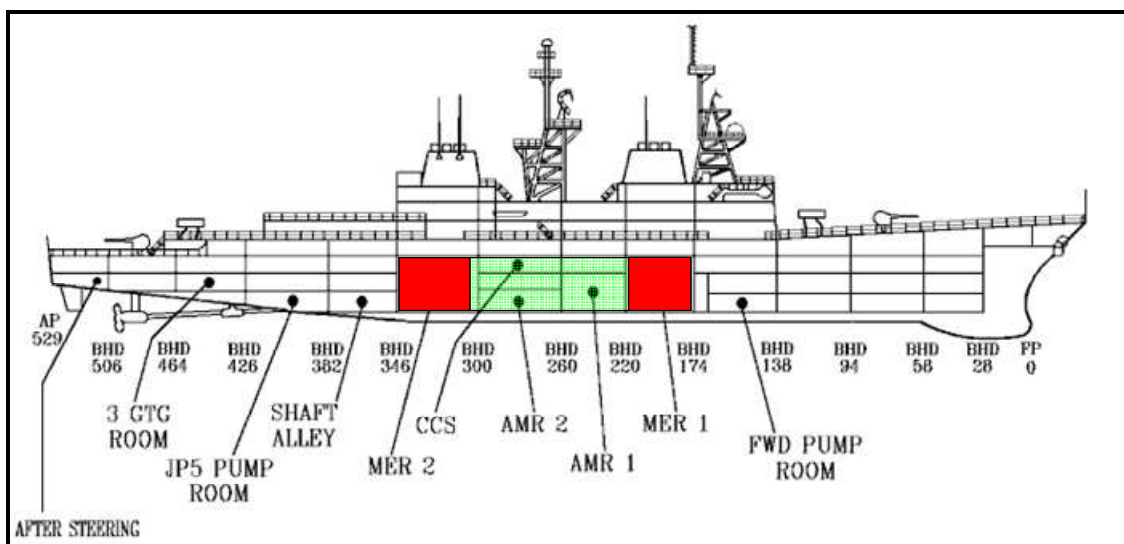
Voimalaitosperiaatteella toimivassa laivassa sähkötehoa voidaan jakaa tilanteen mukaan eri kuluttajille, myös siten, että kuljetuskoneiston tehoa rajoitetaan. DDG-1000:n sähköntuottoteho on mekaaniseen voimansiirtoon perustuviin laivoihin verrattuna suuri. Lähteen [108] mukaan DDG-1000:n koneisto pystyy tuottamaan 20 solmun nopeudella noin 58 MW tehon sähköjärjestelmän muille kuluttajille. DD-963:sta pyrittiin tekemään mahdollisimman hiljainen alus, ja tämän vuoksi siihen valittiin sähköntuotantoon kaasuturbiinigenaattorit dieselgeneraattorien sijasta. Myös DDG-51:ssä on vastaava kolmen kaasuturbiinigenaattorin ratkaisu. Koska aluksissa ei ole sähköistä kuljetuskoneistoa, ovat niiden sähköntuottotehot (DD-963:lla 6,0 MW ja DDG-51:lla 7,5 MW) aivan eri luokkaa kuin DDG-1000:lla. [27, 137]

DDG-1000:n päämoottoreina tulee olemaan kaksi Rolls-Royce MT30 -kaasuturbiinigenaattoria (á 36,0 MW) sekä kaksi Rolls-Royce 4500 -kaasuturbiinigenaattoria (á 4,5 MW). DDG-1000:ssa piti alun perin olla potkurimoottoreina kaksi DRS Technologies:n kehittämää kestomaneettimoottoria (PMM, Permanent Magnet Motor), joita oli jo aiemmin valmistettu onnistuneesti pienemmällä teholla. DDG-1000:en tarkoitettu suuritehoinen 36,5 MW moottori ei kuitenkaan läpäissyt tehdastestejä, ja laivasto päätti luopua kestomagneettimoottorista. Vaihtoehtona kestomagneettimoottorille oli koetultu ratkaisu, induktio- eli oikosulkumoottori. DDG-1000:n kuljetuskoneiston moottoreina tulee olemaan kaksi Converteam:n AIP (Advanced Induction Motor) -oikosulkumoottoria (á 38,8 MW), jota ohjataan pulssinleveys

taajuusmuuttajalla (Pulse Width Modulated Motor Control System). Kestomagneettimootorin keskeinen etu suhteessa oikosulkumoottoriin olisi ollut pienempi paino ja koko sekä hiljaisuus. [27, 42, 52, 68, 114]

Aluksen propulsiona tulee olemaan kaksi kiinteäsiipistä potkuriä [68] sillä sähkömoottori mahdollistaa potkurin pyörimissuunnan vaihdon. Kiinteäsiipinen potkuri on yksinkertaisempi kuin säätösiipipotkuri ja sen hyötysuhde on myös parempi [37].

DDG-51:ssä ja DD-963:ssä on molemmissa samantyyppinen COGAG-kuljetuskoneistoratkaisu: neljä saman tehoista kaasuturbiinia, jotka on kytketty pareittain alennusvaihteeseen, joka pyörittää säätösiipipotkuriä. Aluksissa on myös samantyyppinen konehuonejärjestely (Kuva 25), jossa molempien potkuriakselien pääkonehuoneet ovat pituussuunnassa erillisissä osastoissa keskilaivan alueella, ja osastojen välissä on muita konetiloja [22]. Yksi kolmesta generaattorista on erillään muista keskilaivan konetiloista alusten peräosassa. Molempien aluksien osalta harkittiin myös kiinteäsiipistä potkuriä, mutta peruutuksen toteuttaminen todettiin olevan helpointa ratkaista säätösiipipotkurilla, jolloin potkuriakselin pyörimissuuntaa ei tarvinnut vaihtaa [27]. DD-963 oli ensimmäinen Yhdysvaltojen laivaston suuri pintataistelualus, jossa oli kaasuturbiinimoottorit sekä säätösiipipotkurit; aiemmissa aluksissa oli käytetty höyryturbiinimoottoreita [27, 41].



Kuva 25. DD-963:n keskeisiä konetiloja. MERI tarkoittaa pääkonehuonetta (punaisella) ja AMUR apukonehuonetta (vihreällä). Erillinen generaattori on osastossa GTG room. [22]

DDG-51:n osalta kuljetuskoneistoratkaisuun vaikutti ennen kaikkea suuri tehontarve. Neljällä DD-963:ssä käytetyn (á 16,0 MW), General Electric LM 2500 -kaasuturbiinin tehokkaamman version yhdistelmällä (á 18,9 MW) saavutettiin vaadittu suurin nopeus [27]. Kyseisestä moot-



torista oli myös muodostumassa eräänlainen laivaston standardi, sillä sitä käytettiin DD-963:n lisäksi FFG-7:ssä ja CG-47:ssä. Tämän hetkisten kaasuturbiinien tehot ovat suurempia kuin edellä mainittujen 1980-luvun moottoreiden. Tämä mahdollistaisi teoriassa niin sanotun isä-poika koneiston, jossa samalla akselilla on kaksi erikokoista moottoria. Risteilynopeuden polttoainetaloutta voisi parantaa käyttämällä pienempiä poika-koneita. DDG-51:n tapauksessa isä-poika koneisto saattaisi olla käytännössä vaikea toteuttaa, sillä se vaatisi esimerkiksi DDG-51:n ahtaaksi tiedettyjen konehuoneiden [27] uudelleen suunnittelua sekä kokonaan uudet alennusvaihteet.

Kahdella erillisellä COGAG-koneistolla on kolme eri käyttötapaa: kaikki neljä kaasuturbiinia käynnissä (full), molemmilla akseleilla yksi turbiini (split-plan) tai vain toisella akselilla turbiini (trail-shaft), jolloin toinen akseli ei työnnä ja työntö on epäsymmetrinen [23]. Lähteen [8] DDG-51 Flight I:n suurimmat nopeudet eri käyttötapoilla ovat: 31 solmua (full), 27 solmua (split-plan) ja 20,5 solmua (trail-shaft). Saman lähteen mukaan pienin absoluuttinen polttoaineen kulutus saavutetaan 12 solmun nopeudella (trail-shaft).

Sekä DD-963:ssa että DDG-51:ssä on Prairie/Masker runko- ja potkuriäänien vaimennusjärjestelmä. Järjestelmä perustuu aluksen rungon ympärille ja potkurin johtoreunaan puhalletta viin ilmakupliin, jotka vaimentavat sekä virtauksen aiheuttamaa ääntä että aluksen rungon kautta välittyviä koneistoääniä ja potkurimelua. Järjestelmän tuottamat ilmakuplat eivät romahda samalla tavalla äänekkäästi kuin kavitaatiokuplat. Järjestelmän haittapuolia on ainakin sen vaatima tila, monimutkaisuus ja siitä johtuva potkurin suurempi koko [30, 137].

### 5.3 Rakenteet ja paino

Laivan rakenteiden mitoitus perustuu laivan tavoiteltuun omapainoon ja toiminnallisuuteen, esimerkiksi kantavuuteen ja nopeuteen, sekä rakenteen kuormankantokykyyn [133]. Keskeisiä kuormaan liittyviä tekijöitä tyynen veden taivutusmomentin lisäksi ovat aaltokuormat ja joissain tapauksissa esimerkiksi jääkuormat. Sota-aluksen osalta rakenteisiin vaikuttaa myös erilaiset asevaikutukset, erityisesti vedenalaiset räjähdyskset ja aluksen sisällä räjähtämään suunnatut ampumatarvikkeet [120]. Laivan paino ja painopiste ovat keskeisiä laivan kelluvuuteen sekä vakavuuteen liittyviä tekijöitä. Rakennratkaisun tulee olla yhteensopiva aluksen yleisjärjestelyn kanssa [133].

Julkisista lähteistä saatava tieto laivan rakenteesta rajoittuu pääasiassa rungon ja kansirakennuksen materiaaleihin sekä painotietoihin, joihin tämäkin tarkastelu painottui. Runkorakenteen suunnittelusta ja mitoituksesta ei ole juurikaan tietoa saatavissa. Yleisesti ottaen terästä voidaan pitää laivan perusrakennusmateriaalina sen saatavuuden, hinnan sekä lujuuden ja painon välisen suhteen vuoksi [133]. Muiden materiaalien käyttö perustuu johonkin erityisvaatimukseen.

Keveissä runkorakenteissa käytetään yleisesti teräksen sijasta alumiinia, koska sen tiheys (noin  $2,7 \text{ t/m}^3$ ) on huomattavasti pienempi kuin teräksellä (noin  $7,8 \text{ t/m}^3$ ). Alumiinin lujuusominaisuudet ovat kuitenkin heikommät kuin teräksellä: esimerkiksi taivutukseen liittyvä kimmokerroin  $E$  on alumiinilla noin 70 GPa kun se on teräksellä luokkaa 210 GPa. Alumiinin myötörajan ja väsymislujuuden arvot ovat noin puolet teräksen vastaavista arvoista [57]. Lähteen [57] mukaan yli 130 m pituisella yksirunkoisella aluksella, jolla hallitseva kuormitus on laivapalkkiin kohdistuva taivutusmomentti, alumiinirakenne olisi noin 1/3 kevyempi kuin vastaava teräsrakenne. Alumiinilla on huono lujuus korkeissa lämpötiloissa ja matala sulamispiste, joten sen kestävyys tulipalossa on heikko, esimerkkinä tästä on CG-26 *Belknap:n* alumiinisen ylärakenteen erittäin paha vaurioituminen törmäystä seuranneessa tulipalossa vuonna 1975 [57]. Yhdysvaltojen laivastolla on lisäksi runsaasti havaintoja alumiinin väsymisestä aluksen ylärakenteissa [57].

Kelluvan laivan uppouman paino  $\Delta$  [t], eli sen syrjäyttämän vesimäärän paino on yhtä suuri kuin laivan paino  $W$  [t], joka voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: omapainoon  $W_{LS}$ , joka sisältää laivan rakenteiden ja järjestelmien painon sekä kantavuuteen  $W_{DW}$ , joka sisältää lastin, polttoaineet, varastot sekä henkilöstön [133]. Painopisteen sijainnilla on suuri vaikutus laivan vakavuuteen ja keinuntaan. Sotalaivojen uppoumaan jätetään yleensä liikkumavaraa (margin) mahdollisia myöhempiä muutoksia varten. Tällöin tulee myös huolehtia mahdollisen lisäpainolastin, jolla painopistettä hallitaan, osuus uppoumasta [133]. Edellä mainittu liikkumavara on siis tilaajan määrittelemä eikä sitä tule sekoittaa telakan rakentamisen aikaiseen omapainon reserviin.

Yhdysvaltojen laivaston alusrekisteri [86] määrittelee omapainon mukaisen uppouman (Light Displacement) siten, että alus on operointivalmis ja siinä on pysyvä painolasti, mutta ei henkilöstöä, ampumatarvikkeita eikä kulutettavaa tai muuttuvaa lastia. Kokonaisuppouma (Full Displacement) sisältää omapainon mukaisen uppouman lisäksi maksimihenkilöstön, varastot, ampumatarvikkeet, säiliöiden painon sekä muun lastin. Kantavuus (Dead Weight) on kahden edellisen erotus ja se kuvaa laivan lastinottoa. Oheisessa taulukossa (Taulukko 9) on painotietojen lisäksi polttoaineen paino  $W_F$ , joka on merkittävä osa kantavuutta, sekä polttoaineen mahdollistama toimintamatka  $R$  risteilynopeudella  $V$ . Polttoaineiden painossa ei ole huomioitu helikopteripolttoaineen painoa.

Taulukko 9. Painotietoja.

	FFG-57	LCS-1	LCS-2	DD-963	DDG-79	DDG-1000
$\Delta$ [t]	4163	3292	3104	9181	9667	14564
$W_{LS}$ [t]	3250	2707	2307	6755	7248	
$W_{DW}$ [t]	912	585	797	2425	2419	
$W_F$ [t]	587	360	579	1534	1416	
$V$ [kn]	20	18	20	20	20	
$R$ [mpk]	4500	3500	4300	6000	4400	4500

Tässä yhteydessä todettakoon, että sotalaivojen osalta käytetään usein myös standardiuppoumaa. Se perustuu niin sanottuun vuoden 1922 Washingtonin sopimukseen [13], jolla pyrittiin rajoittamaan sopimusvaltioiden laivastoja uppoumaan sidottuna. Sopimuksen mukaan standardiuppouma sisältää täyden uppouman mukaiset painot lukuun ottamatta polttoainetta ja mahdollisen höyrykoneen syöttövettä. Standardiuppouma perustui Iso-Britannian vaatimukseen, koska sen silloinen maailman laajuinen toiminta-alue johti suurempiin polttoainekuormiin kuin muiden valtioiden aluksilla, ja siten myös kokonaisuppoumaltaan suurempiin aluksiin [136].

### 5.3.1 Rakenteet ja paino: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7

Kuten jo kuljetuskoneistojen käsittelyn yhteydessä (Alaluku 5.2.1) todettiin, molemmat LCS:t ovat ainakin osittain painokriittisiä suuresta nopeudesta johtuen. Painokriittisyys vaikuttaa sekä aluksen omapainoon että kantavuuteen. Aluksien tehtäväkohtaisen järjestelmän painoon liittyvän kantavuuden tavoitetaso oli alkuperäisissä vaatimuksissa (Taulukko 3) määritetty 210 tonniksi (järjestelmät 130 tonnia ja niihin liittyvä polttoaine 80 tonnia). Tehtäväkohtaiseen järjestelmään kuului kaikki perusjärjestelmään kuulumattomat järjestelmät, veneet, ilmalukset, henkilöstö, varusteet, kontit sekä niiden käyttöön tarvittava polttoaine. Taistelujärjestelmän jakaminen osittain laivan omapainoon kuuluvaksi ja osittain kantavuuteen kuuluvaksi

on selvä muutos vakiintuneeseen käytäntöön, jossa taistelujärjestelmän oli osa omapainoa (pl. ampumatarvikkeet). Tällöin kantavuusasteet (kantavuuden suhde uppoumaan) eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Nopeiden alusten erityispiirre rakenteen kuormitusten osalta on mahdolliset suuret keula-alueen paineiskut aallokossa.

LCS-1:n rungon materiaali on terästä ja sen ylärakenne on alumiinia. Tällä ratkaisulla runko tehdään lujemmasta materiaalista, ja ylärakenteen kevyempi materiaali vaikuttaa laivan omapainoon ja laskee painopistettä alaspäin. Teräksen käyttö painokriittisessä aluksessa voi johtaa myös paino-ongelmiin. LCS-1:n osalta tämä riski konkretisoitui, johtuen jo aiemmin mainitusta rakentamisen aikaisesta suunnittelusta. Aluksesta tuli alun perin tarkoitettua painavampi, josta johtuen se ylitti sallitun syväyksen maksimi kantavuudella. Tämä pienensi reserviuppoumaa, ja samalla johti siihen, että alus ei täyttänyt laivaston vauriovakavuussääntöä vesivii-vaan nähden 15 % vuotopituudesta [20]. LCS-1-konseptiin perustuvia laivoja tullaan pidentämään vaatimusten täyttämiseksi. LCS-1:en lisätyillä kelluntatankeilla on saatu kasvatettua reserviuppoumaa, mutta ne saattavat aiheuttaa riskin käytettäessä peräporttia. Laskettava tai nostettava vene joutuu kulkemaan lisäkellukkeiden välistä, jolloin aallokossa on vaarana osuminen kellukkeisiin tai ajautuminen niiden alle.

LCS-2 on tehty kokonaan alumiinista. Aluksen trimaraanirunkoratkaisusta johtuva suuri leveys runkojen välisine rakenteineen on johtanut aluksen uppoumaan ja pituuteen verrattuna erittäin suurikokoiseen rakenteeseen. Rakenteen suuri koko yhdistettynä painokriittisyyteen on tehnyt teräksen käytön mahdottomaksi. On myös perusteltua olettaa, että suuren veden yläpuolisen rakenteen koon vuoksi alumiininen trimaraani joudutaan suunnittelemaan ja mitoittamaan pienemmillä materiaalivahvuuksilla kuin vastaavan uppoumainen alumiininen yksirunkoalus. Monirunkoratkaisussa runkoja yhdistävään rakenteeseen kohdistuvat poikittaiset taivutuskuormat voivat olla varsin suuria [28, 61], joten rakenteen kestävyys aallokossa voi muodostua ongelmaksi, vaikka esimerkiksi aiemmin käsitellyt vakavuus- ja keinuntaominaisuudet voivatkin olla hyviä. LCS-2:n kehittämisessä käytettiin apuna brittiläistä kokeilukäyttöön tarkoitettua trimaraani RV *Triton:a* [57]. Se poikkesi kuitenkin merkittävästi LCS-2:sta pituuden (97 m), rakenteen (teräs) ja Frouden luvun osalta (noin 0,35). Ilmeisesti LCS-2:n rakenteessa on ollut kehitysongelmia, koska vuoden 2010 alussa raportoitiin, että sen trimaraanirunkoratkaisu ja alumiinirakenne olivat vasta saavuttamassa teknisen kypsyyden [112].

FFG-7:ssä on teräsrunko ja alumiininen ylärakenne. Sen alkuperäiseksi kokonaisup-poumaksi oli suunniteltu noin 3600 tonnia, ja sen lisäksi oli varattu vain noin 3 % (100 ton-nin) liikkumavara [27]. Aluksiin on tehty vuosien saatossa lukuisia muutoksia, joista johtuen alusten uppouma on nykyisellään lähes 4200 tonnia, siis 600 tonnia suunniteltua enemmän. Painon nousu on vaikuttanut heikentävästi alusten vakavuuteen, mutta se ei ole rajoittanut niiden käyttöä. Alusten rungoissa on ollut vääntymisongelmia, josta johtuen keskilaivaan pää-kannen alapuolelle on lisätty kaksoislaidoitus. Alusta pidetään muuten lujatekoisena ja vau-rionkestävänä. Jälkimmäisestä on osoituksena FFG-58 *Samuel B. Robertsin:n* selviytyminen miinaanajosta ja FFG-31 *Stark:n* selviytyminen kahden Exocet meritörjuntaohjuksen osumas-ta uppoamatta. FFG-7:ssä on 19 mm alumiinipanssarointi ammusvarastoissa, 16 mm teräs-panssarointi konevalvomossa ja 19 mm kevrälpanssarointi tärkeimmissä elektroniikka ja joh-tamistiloissa. [102, 137]

Kevyen rakenteen kyky kestää asevaikutusta on lähtökohtaisesti huonompi kuin suuremmilla materiaalivahvuuksilla mitoitetuilla rakenteilla. Lisäksi painokriittisyys voi estää esimerkiksi tärkeiden tilojen lisäsuojan panssaroinnilla. Lähteen [20] mukaan kummankaan LCS:n ei ole-teta saavuttavan määritettyä vedenalaisen räjähdysen aiheuttaman shokki-iskun kestoa ra-kenteille tehtyjen kokeiden tulosten perusteella. Ainoastaan osa järjestelmistä on shokin kes-täviä siten, että alus pystyy siirtymään pois uhka-alueelta. Myös mallikokeisiin ja simulointiin perustuvat alustavat tulokset ovat aiheuttaneet huolta ammuksien vaikutuksesta miehistöön ja tärkeimpiin järjestelmiin, eikä aluksien oleteta pystyvän jatkamaan tehtävän suoritusta osumi-en jälkeen [21]. Kriittisten arvioiden mukaan LCS:ien taistelunkestävyys onkin huoltoalusten luokkaa [135].

Aluksen itsenäinen toimintamatka on polttoaineen kulutuksen lisäksi riippuvainen aluksen polttoainesäiliöiden tilavuudesta. Toisaalta mukana kuljetettava polttoaine vaikuttaa merkittä-vänä osana kantavuuteen. FFG-7:n polttoaineen kokonaispaino on noin 650 tonnia (aluksen polttoaine 587 tonnia ja helikopterien polttoaine 64 tonnia). Aluksen omapaino on lähes 3300 tonnia, ja kokonaisuppouma jo aiemmin mainittu 4200 tonnia. Aluksen kantavuus on noin 900 tonnia, josta polttoaineet vievät yli 70 %. [137]

LCS-1:n osalta omapainoksi oli alun perin ilmoitettu 2100 tonnia ja kokonaisuppoumaksi noin 2800 tonnia [86]. Saman lähteen viimeisempien tietojen mukaan omapaino olisi noussut 2700 tonniin ja kokonaisuppouma olisi noin 3300 tonnia eli uppouma olisi kasvanut raken-nusvaiheessa noin 500 tonnia. LCS-1:n kantavuus on tällä hetkellä noin 600 tonnia. Kanta-vuudesta tehtäväkohtainen järjestelmä vie noin 200 tonnia (sisältäen ilma-alusten polttoai-

neen), jolloin kantavuutta jää noin 400 tonnia, joka on samaa suuruusluokkaa kuin aluksen polttoaineen paino. Koska alus on jo ylittänyt suurimman sallitun syväyksen, ei tulevaisuuden painon kasvuvaraa juurikaan ole. Tästä johtuen aluksen suurta tilavuutta ei todennäköisesti voida painon suhteen käytännössä hyödyntää.

LCS-2:n uppouma on noin 3100 tonnia, josta omapaino on noin 2300 tonnia ja kantavuus noin 800 tonnia [86]. Vastaavat alkuperäiset arvot olivat 2800 tonnia ja 2200 tonnia. Kantavuutta jäisi jäljelle tehtäväkohtaisen järjestelmän jälkeen noin 600 tonnia, joten LCS-2 (580 tonnia) pystyy kuljettamaan huomattavasti enemmän polttoainetta kuin LCS-1 (360 tonnia) [4]. Kuten LCS-1:n osalta, myös LCS-2:n suurta tilavuutta ei pystyttäne täysin hyödyntämään kantavuuden kannalta, mutta se ei ole todennäköisesti kantavuuden osalta yhtä painokriittinen kuin LCS-1. LCS-2:n osalta painokriittisyyttä on hallittu omapainon avulla käyttämällä materiaalina alumiinia, jolloin sen omapaino on huomattavasti alhaisempi kuin LCS-1:llä.

FFG-7:n toimintamatka 20 solmun nopeudella on noin 4500 mpk, ja LCS-2 saavuttaa lähes saman toimintamatkan (4300 mpk) vastaavalla nopeudella. LCS-1:n toimintamatka hitaamalla 18 solmun risteilynopeudella on lyhyempi eli 3500 mpk. Nopeusero ei ole numeroarvoina kovin suuri, mutta teoriassa 3500 mpk matka kestää 20 solmun nopeudella hieman yli 7 vuorokautta ja 18 solmun nopeudella hieman yli 8 vuorokautta ajallisen eron ollessa noin 19 tuntia. Vaatimuksiin perustuen LCS:ien toimintamatka suurimmalla nopeudella olisi noin 1000...1500 mpk.

### 5.3.2 Rakenteet ja paino: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963

DDG-1000:n runko on terästä ja sen kokonaisuppouma on 14600 tonnia. Sen kantavuudesta ei ole saatavilla tietoa. DDG-1000:n painon kasvuvara on noin 10 % eli noin 1500 tonnia [110]. Aluksen suuri uppouma merkitsee teoriassa kantavuusasteen kasvua, koska aluksen runkorakenteen paino ei kasva lineaarisesti vaan se kasvaa hitaammin kuin kokonaisuppouma [133]. Tällöin sotalaivassa voidaan käyttää esimerkiksi raskaampia järjestelmiä, kuten sähköistä kuljetuskoneistoa tai keinunnanvaimennustankkeja, tai rakenteellista suojausta voidaan kasvattaa. Esimerkiksi DDG-1000:n laidoille sijoitettu pystylaukaisujärjestelmä on panssaroitu, jolloin se lisää rungon sisäosien suojaa [110]. Erään tiedon mukaan aluksen keinunnanvaimennustankkeihin tarvittaessa otettavan veden paino olisi noin 1800 tonnia, eikä sitä olisi sisällytetty ilmoitettuun kokonaisuppoumaan [5]. Kyseisen lähteen mukaan NAVSEA olisi

aiemmin ilmoittanut alukselle suuremman uppouman, eli muuttuva painolasti huomioiden se olisi ollut noin 16400 tonnia.

Aluksen kansirakennuksen suunnittelussa pyrittiin sekä muotoilun että materiaalien osalta painon ja painopisteen alentamiseen, elektroniseen suojaan sekä infrapuna- ja tutkaherätteen alentamiseen. DDG-1000:n integroitu kansirakennus (varsinainen kansirakennus ja sen päällä oleva ylärakenne) on varsin suurikoneinen. Se on noin 49 m pitkä, 21 m leveä ja 20 m korkea. Siinä on kaiken kaikkiaan seitsemän kantta, joista kolme alinta kantta on valmistettu teräksestä ja neljä ylintä kantta huomattavasti kevyemmästä komposiittikerrosrakenteesta. Myös kansirakennuksen takana oleva helikopterien säilytysuoja on komposiittirakenteinen. Komposiitin lujitteena on hiilikuitu ja matriisiaineena on vinyyliesteri. Rakenteen ytimessä käytetään pääosin balsaa, koska se ei pala yhtä nopeasti kuin esimerkiksi vaahto. Balsa toimii myös hyvänä eristeenä. Kansirakennuksen paneelit on tehty tasaisista pinnoista valmistuksen helpottamiseksi. Niissä paneeleissa, joissa esiintyy suuria leikkausjännityksiä, on käytetty vaahtoydintä. Komposiittirakenteen hyviä puolia teräkseen verrattuna on sen melu- ja värähtelyominaisuudet. Sen sijaan sen palonkestävyys on yleensä huono. [57, 60]

DDG-51 on kokonaan teräsrakenteinen ja sen alkuperäinen uppouma oli noin 8800 tonnia. Aluksen omapaino oli noin 6700 tonnia ja kantavuus 2100 tonnia [86]. Alukselle oli suunniteltu noin 10 % painon kasvuvара eli noin 900 tonnia. Omapainoon sisältyi 130 tonnin painoinen kevrälpanssarointi tärkeissä tiloissa. Aluksen suunnittelun aikana tehdystä leveyden pienentämisestä ja siitä seuranneesta vakavuuden heikkenemisestä johtuen aluksen tulee operoida täyttä polttoainelastia vastaavassa tilanteessa. Kulutettu polttoaine kompensoidaan vastaavalla määrällä painolastivettä painopisteen nousemisen estämiseksi. Jatkuva täydellä uppoumalla operointi kasvattaa polttoaineen kulutusta. Flight IIA -alusten painoa ja painopistettä laskettiin pienentämällä kansirakennuksen ainevahvuutta. Rungon alaosan levynpaksuutta lisättiin  $\frac{3}{4}$  rungon pituudelta keskilaivalla. Flight II:n, jonka runko on siis 1,5 m pidempi kuin alkuperäisen Flight I:n, uppouma oli aluksi noin 9200 tonnia. Aluksiin lisättiin jo aiemmin mainittu räjähdystä varten vahvistetut viisi laapiota, joista neljä sijoitettiin molempien konehuoneiden etu- ja takapuolelle. DDG-86:sta alkaen helikopterien säilytysuojat ovat olleet komposiittirakenteisia. Flight II:n alkuperäinen omapaino oli kevyempi kuin Flight II:lla eli 6600 tonnia, ja kantavuus kasvoi 2600 tonniin. Nykyisellään aluksen uppoumaksi ilmoitetaan noin 9700 tonnia, josta omapainon osuus on 7200 tonnia ja kantavuuden osuus noin 2500 tonnia eli käytännössä alkuperäinen, hieman lyhyemmän rungon, painoreservi on käytetty. [27, 86, 137]

DD-963:n runko oli terästä ja ylärakenne alumiinia. Sen alkuperäinen uppouma oli noin 8000 tonnia, oma paino oli noin 6000 tonnia ja kantavuus oli noin 2000 tonnia [27]. Sille oli suunniteltu suuri, yli 12 % painon kasvuvara eli noin 1000 tonnia [27]. Alukseen tehtiin lukuisia rakenteellisia muutoksia vuosien saatossa, ja esimerkiksi tärkeiden tilojen suojaksi lisättiin kellaria. Muutoksista johtuen aluksen uppouma kasvoi noin 9200 tonniin, josta oma-paino oli noin 6800 tonnia ja kantavuus noin 2400 tonnia [86]. Jo nämä luvut osoittavat aluksen olleen suunnitellun mukaisesti muuntelukykyinen. Lisäksi voidaan todeta, että samaan runkoon perustuen on tehty yli 10000 tonnin CG-47, jonka syväys (7,5 m) on yli metrin suurempi kuin alkuperäisen DD-963:n (6,3 m). Tosin tämän vuoksi CG-47:n keulaan jouduttiin lisäämään korotettu parras veden kannelle pääsyn rajoittamiseksi aallokossa [137]. DD-963:n suuri pituus, jonka on aiempana esitetty vaikuttavan positiivisesti kulkuvastukseen sekä jyskinnän vaimentamiseen, voi aiheuttaa rakenteellisia ongelmia taipumisen vuoksi sivusuhteen ollessa pieni. Tästä on viitteitä muun muassa CG-47-luokan alusten osalta, joiden runkoihin tullaan tekemään rakenteellisia vahvistuksia [16].

DD-963 pystyi ottamaan polttoainetta noin 1500 tonnia (lisäksi noin 70 tonnia helikoptereille), joka mahdollisti 6000 mpk toimintamatkan 20 solmun nopeudella. DDG-51:n polttoainemäärä on noin 1400 tonnia, ja sen toimintamatka on pienempi DD-963:lla ollen samaa luokkaa kuin FFG-7:llä, noin 4400 mpk 20 solmun nopeudella [137]. DDG-1000:n polttoainetilavuudesta ei ole tietoa.

## 5.4 Yleisjärjestely

Laivan yleisjärjestelyn perustana on päämittojen ja runkomuodon muodostama tila [133]. Yleisjärjestelykuvissa esitetään eri tilojen sijoittelu ja niiden vaatima tilavaraus [133]. Kyseisiä kuvia ei ole kuitenkaan julkisesti saatavilla, joten yleisjärjestelyn kokonaisvaltainen tarkastelu ei ole tässä yhteydessä mahdollista. Sotalaivojen osalta eräs yleisjärjestelyn keskeinen osa-alue on sääkannen eli ulkokannen järjestely [30, 121]. Tässä tarkastelussa paneudutaankin lähinnä aluksien ulkokansiin ja kansirakennuksiin sekä joihinkin yleisjärjestelyyn liittyviin tekijöihin. Yleisjärjestelyn arvioinnissa käytettiin apuna alusten kuvia. Kaikkia aluksiin sijoitettuja järjestelmiä ei tarkasteltu, vaan ainoastaan keskeisiä kansijärjestelyyn vaikuttavia tekijöitä kuten esimerkiksi pääaseita sekä koneistojen ilma- ja pakokaasukanavia. Konehuoneet, joita tässä yhteydessä ei sen enempää tarkasteltu, vievät suhteellisen suuren tilan (Kuva 25). Yleisjärjestelyn yhteydessä käsitellään myös alusten tutkaherätettä, joka nousi voimakkaasti esille tutkahakupäällä varustettujen meritorjuntaohjusten kehityksen myötä jo 1960-luvun lopulla [44].

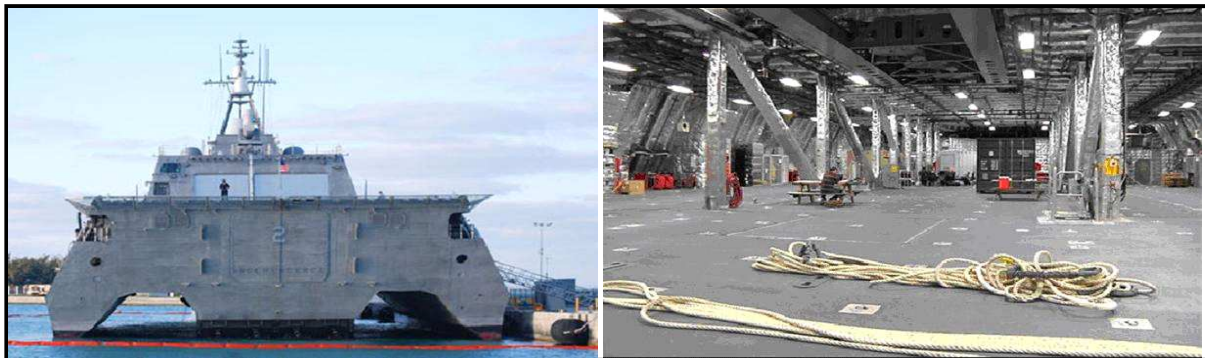


Asuintiloilla, ja sen perustana olevalla miehistömäärällä on merkittävä vaikutus sotaluksen yleisjärjestelyyn [121]. Henkilöstömäärä ei vaikuta vain asuintiloihin, vaan myös esimerkiksi keittiöihin, messeihin sekä vesi- ja muonavarastoihin. Sotalusten henkilöstömääriä on pyritty yleisesti pienentämään viimeaikoina ensisijaisesti palkkakustannusten alen- tamiseksi. Lähteen [73] mukaan henkilöstömäärän vähentämiseksi on viisi vaihtoehtoa: pääl- lekkäisten työtehtävien tasaisempi jakaminen, mekaanisen työn siirtäminen ihmisiltä koneille, automaatio, laivan yleisjärjestelyn ja järjestelmien optimointi sekä huoltotöiden siirtäminen alukselta maihin. Tässä yhteydessä on kuitenkin syytä todeta, että suurehkoa miehistömäärää on pidetty keskeisenä Yhdysvaltojen laivaston alusten vauriotorjunnan onnistumisen edelly- tyksenä [36, 135]. Toisaalta edellä mainitun henkilöstön vähentämisen maissa tehtävien huol- tojen avulla on epäilty heikentävän henkilöstön osaamista merellä tapahtuvissa vikatilanteissa [56].

Yleisesti ottaen itse laivan liikkumiseen tarvittava henkilöstömäärä ei ole kovin suuri, ja suu- riakin kauppa-aluksia ajetaan noin parinkymmenen hengen miehistöllä. Lähteen [73] mukaan sotalaivan henkilöstömäärä perustuu aluksen tehtäviin ja järjestelmiin, niiden käyttöön ja sa- manaikaisiin toimenpiteisiin huomioiden esimerkiksi vauriotorjunta, sekä henkilöstön työs- kentelyrytmiin. Esimerkkinä taistelujärjestelmän keskeisestä vaikutuksesta voidaan ottaa LCS. Laivan ja sen perustaistelujärjestelmän operointiin tarvitaan noin 40 henkilöä, mutta yhden vaihtoehtoisen tehtävän mukanaan tuomaa henkilöstö (35) lähes kaksinkertaistaa hen- kilöstömäärän.

#### 5.4.1 Yleisjärjestely: LCS-1, LCS-2 ja FFG-7

Molempien LCS:ien yleisjärjestelyn hallitseva piirre on aluksien perässä oleva lastitila sekä sen päällä oleva helikopterikansi. LCS-2:ssa sekä helikopterikansi että lastitila ovat huomatta- van tilavia aluksen suuresta leveydestä johtuen, esimerkiksi lastitila on kuuden kaistan levyi- nen (Kuva 26). Lastitila ja sen peräluukut sijaitsevat kuitenkin korkealla, ja siitä johtuen ve- sikulkuneuvojen nosto ja lasku joudutaan tekemään nosturilla [11]. LCS-1:ssä lastitila on ka- peampi, mutta se sijaitsee matalammalla, jolloin veneet voidaan ajaa aluksesta ulos ja sisään perärampilta (Kuva 27) [43]. Perinteisellä LCS:n uppoumaa vastaavilla fregateilla ei ole vas- taavia lastitiloja, peräportteja eikä ylipäättään mahdollisuutta osajärjestelmien vaihtoon [2]. Runkomuodon vaikutusta lastitilaan on käsitelty jo aiemmin (Alaluku 5.1.1).



Kuva 26. LCS-2:n perä ja lastitila [11].



Kuva 27. LCS-1:n peräövet [141] ja peräramppi [67].

Toinen LCS:ien yleisjärjestelyyn vaikuttava tekijä on kiinteästi asennettujen aseiden vähäinen määrä. Aluksien perusjärjestelmään kuuluu vain keulakannella sijaitseva 57 mm tykki ja helikopterisuojan päällä sijaitseva RAM-ilmatorjuntaohjusjärjestelmä. Molemmat edellä esitetyt ominaispiirteet liittyvät LCS:ltä vaadittuun modulaarisuuteen, jota on käsitelty aluksen järjestelmien yhteydessä (Alaluku 4.2.4). Verrattuna muihin moduuliratkaisuihin LCS:n moduulit on keskitetty pääosin lastitilaan, kun esimerkiksi Stanflex- ja MEKO-konsepteissa käytetään aluksen rakenteessa oleviin asennuspaikkoihin sijoitettavia kontteja. LCS-alusten kansijärjestelyt ovat seuraavissa kuvissa (Kuva 28 ja Kuva 29).



Kuva 28. LCS-1:n kansijärjestely [94].



Kuva 29. LCS-2:n kansijärjestely [95].

Molemmissa LCS:ssä kansirakennukset ovat sisäänpäin kallistettuja ja ne muodostuvat tasopinnoista, joten itse kansirakennukset ovat todennäköisesti tutkapoikkipinta-alaltaan pieniä. Koneistojen ilma- ja pakokaasukanavat kulkevat kansirakennuksessa. Myös helikopterien säilytysuojat on yhdistetty kansirakennukseen. Molemmissa aluksissa on kansirakennuksessa kuitenkin erillinen masto, ulkoisia antennoja sekä esimerkiksi RAM-ohjuksen laukaisualusta, joten tutkapoikkipinta-alan pienentämistä ei ole viety yhtä pitkälle kuin jäljempänä käsiteltävässä DDG-1000:ssa.

Alkuperäisessä FFG-7:ssä keulakannelle oli sijoitettu kansiasenteinen Mk 13 -alueilma- torjunta- ja meritorjuntaohjusten laukaisualusta, joka on tätä nykyä poistettu Yhdysvaltojen laivaston aluksista. Australialaisen FFG-7:än perustuvan *Adelaine*-luokan vuonna 2009 valmistuneen modernisoinnin yhteydessä alukseen sen sijaan lisättiin Mk 13 -laukaisualustan



etupuolelle 8-paikkainen Mk 41 (tactical-length-versio) -pystylaukaisualusta, josta voidaan laukaista ESSM-ilmatorjuntaohjuksia. Tämä vaati merkittäviä rakenteellisia muutoksia keulaan, mutta asennus kyettiin toteuttamaan [46]. FFG-7:n ylärakenne on pitkä ja laatikkomainen. Aluksen kyljet ovat pystysuorat. Laatikkomaisuutta korostaa suunnittelun aikana tullut vaatimus kahden helikopterin hangaarista, joka johti kansirakennuksen takaosassa olevan suojan koon kasvuun [27]. Kaasuturbiinien imu- ja poistoilmakanavat ovat osana ylärakennetta hangaarin etuosassa. Aluksen 76 mm päätykki on sijoitettu erikoiseen paikkaan konekanavien etupuolelle kansirakennuksen päälle. Aluksessa on useita ulkoisia mastoja, antennejä ja laitteita, jotka muodostavat tutkasoppeja. Vaikka aluksen perä ei mahdollista varsinaista lastitilaa, on perässä helikopterikannen alla tila hinattavalle hydrofonikaapelille ja sen kelalle. FFG-7:n kansijärjestely on seuraavassa kuvassa (Kuva 30).



Kuva 30. FFG-7:n kansijärjestely. Kuva on käännetty peilikuvaksi vertailun helpottamiseksi. Aluksen keulassa ei ole enää Mk 13 -laukaisualustaa, sen paikalla on harmaa lieriö. [96]

LCS:n 75 hengen miehistö on yleisjärjestelyn suunnittelun ja siten koko laivan tilojenkäytön kannalta merkittävä tekijä verrattuna FFG-7:n noin kolminkertaiseen henkilöstömäärään (215) nähden. FFG-7:ssä oli alun perin 10 % marginaali henkilöstömäärän lisäämiseksi mahdollisten uusien järjestelmien myötä [27]. Vaikka tarkkoja tietoja ei ollut käytettävissä, on perusteltua olettaa, että LCS:n pienempi henkilöstömäärä mahdollistaa ainakin teoriassa tasoltaan aiempaa paremmat majoitustilat sekä vapauttaa tilaa myös muuhun käyttöön. LCS:n pientä miehistöä on pidetty riskinä vauriotilanteissa [11].

#### 5.4.2 Yleisjärjestely: DDG-1000, DDG-51 ja DD-963

DDG-1000:n integroitu kansirakennus on osa aluksen häiveteknistä toteutusta. Se koostuu tasopinnoista ja sen sivuosat on muotoiltu yhtenäiseksi aluksen rungon kanssa. Kansirakennus sisältää tavallisen kansirakennuksen lisäksi ”masto-osan”, jossa on aluksen tutkat ja muut sensorit sekä viestivälineet joko rakenteen pintaan integroituina tai rakenteen sisällä. Tällä ratkaisulla on päästy eroon perinteisestä ulkoisesta mastosta tukirakenteineen ja antennien alustarakenteineen eikä antennoja tai pyöriviä tutka-antenneja ole näkyvissä. Myös aluksen pakokaasukanavat on sijoitettu kansirakennuksen sisään, jolloin erillisiä korsteeneja ei ole. Helikopterien hangaari on liitetty yhtenäiseksi rakenteeksi kansirakennuksen kanssa. Näillä ratkaisuilla on merkittävä pienentävä vaikutus aluksen tutkapoikkipinta-alaan. Sisäänpäin kallistettu muoto suuntaa tutkakaiun edulliseen suuntaan ja tasopinta ei aiheuta samanlaista tutkakaiun suuntautumista kuin erilliset, usein soppeja sisältävät rakenteet. Aluksen tykkien tornit on muotoiltu tutkapoikkipinta-alaa pienentävästi, ja tykkien putket ovat muussa kuin ampumatilanteessa laskettuna tornirakenteen sisälle. Aluksen kannella ei ole erillisiä rakenteita tai laitteita kuten esimerkiksi venetaavetteja. Aluksen kansijärjestely on seuraavassa kuvassa (Kuva 31).



Kuva 31. DDG-1000:n kansijärjestely. Kuva on käännetty peilikuvaksi. [85]

Asejärjestelmien osalta erityisesti pystylaukaisujärjestelmien sijoittelu on DDG-1000:ssa kokonaan uudenlainen. Lähtöalustat ovat keulan ja perän alueella laidoilla jonossa, ja siten pitkittäisesti suurelle alueelle jakautuneina. Niiden ja aluksen laidoituksen välinen tila, joka laajenee kannelta kohti vesiviivaa, muodostaa eräänlaisen ulkovoimavälikkeen aluksen runkoon. Pystylaukaisualustojen sijoittaminen laidoille on vapauttanut tilaa aluksen keskelle, DDG-1000:n tapauksessa esimerkiksi keulan kahdelle suurelle tykille. Perinteisessä ratkaisussa pystylaukaisualustat ovat laivan leveyssuunnassa keskellä suhteellisen tiiviissä suorakulmiossa tai lähes neliön muodossa. Normaalilla runkomuodolla olevassa aluksessa pystylaukaisualustoja ei pystyne edes sijoittamaan laidoille, koska laidat taipuvat sisäänpäin ja palteen jälkeen alus kapenee voimakkaasti.

DDG-51:n ja modifioidun DD-963:n keulalaivan ulkokannet ovat hyvin samantyyppiset. Keulassa on 127 mm tykki ja sen takana on pystylaukaisualusta, jossa DDG-51:llä on 32 ohjuspaikkaa ja DD-963:lla 61 ohjuspaikkaa. Yksityiskohtana voidaan todeta, että pystylaukaisujärjestelmällä on suuri vaikutus aluksen rungon yleisjärjestelyyn vaikka se ei näy merkittävästi ulospäin (Kuva 32). Esimerkiksi Mk 41 -pystylaukaisujärjestelmän Strike-version (61 ohjuksella) pituus on noin 6 m ja leveys noin 9 metriä, joten se vie suhteellisen pienen tilan ulkokannella. Järjestelmä on kuitenkin lähes 8 metriä korkea, ja se ulottuu pystysuunnassa kolmen kansivälin alueelle. Järjestelmä painaa ilman ohjuksia noin 100 tonnia ja ohjuksilla noin 200 tonnia. [130]



Kuva 32. Mk 41 -pystylaukaisujärjestelmä. DDG-51:n keulassa on 4 kappaletta 8 ohjuksen moduulia [12], joista yhtä ollaan asentamassa oikeanpuoleisessa kuvassa [65].

DDG-51 oli ensimmäinen Yhdysvaltojen taistelualus, jossa tutkapoikkipinta-alaa pyrittiin pienentämään muotoilun avulla: aluksen kyljet kallistettiin ulospäin ja ulkopinnoista pyrittiin tekemään kaltevia, pyöreitä kulmia vältettiin ja mahdollisimman paljon varustusta yritettiin sijoittaa rakenteen sisäpuolelle [27]. DDG-51:n ylärakenne on kaksiosainen. Edessä on varsinainen kansirakennus, johon on integroitu vaiheohjatun tutkan antennit, ja sen takana oleva etummaisen konehuoneen korsteeni. Lyhyen kansitilan takana on takimmaisen konehuoneen korsteeni sekä osittain rungon sisällä oleva pystylaukaisualusta 64 ohjuksella sivuilla olevine helikopterisuojuineen. Aluksen peräosassa on helikopterin laskeutumisalue. Riittävän reserviuppouman varmistamiseksi aluksen ketkaviiva nousee perässä, ja aluksen helikopterialusta on pituussuunnassa kalteva. Rakenteen ulkopinnat ovat sisäänpäin kallistettuja, mutta ylärakenne ei ole kokonaan yhtenäistä tasopintaa. Aluksella on suuri masto erillisine antennineen sekä kannelle sijoitettuja varusteita kuten venetaavetit. Yksityiskohtana voidaan mainita, että DDG-51:n sääkannen alapuolisella pääkannella päädyttiin ratkaisuun, jossa käytävät sijoitettiin kansirakennuksen laidoille. Tämä ratkaisu lisää käytävien välillä olevien tilojen rakenteellista suojaa ja tarjoaa vaihtoehtoiset kulkureitit poikkeustilanteessa [27]. Aluksen kansijärjestely on seuraavassa kuvassa (Kuva 33).



Kuva 33. DDG-51 Flight IIA:n kansijärjestely.

DD-963:ssa on suuri, useita erikokoisia laatikkomaisia lohkoja sisältävä ylärakenne. Se koostuu varsinaisesta kansirakennuksesta, sen takana olevasta etummaisen konehuoneen korsteenista, välirakenteesta sekä yhdistetystä helikopterin säilytysuojasta ja takimmaisen konehuoneen korsteenista ja helikopterin laskeutumisalustasta. Helikopterialustan takana on yhtä kantta alempana varsinaisella ulkokannella kansiasenteinen ohjuslaukaisualusta, ja perässä pääkannella toinen 127 mm tykki. Rakenteen suuret pinnat ovat pystysuoria ja rakenteessa on erittäin paljon soppeja. Myös aluksen kyljet ovat pystysuorat. Aluksessa on kaksi suurta erillistä mastoa lukuisine antennineen sekä kannelle sijoitettuja laitteita. Rakenteiden muodosta johtuva tutkapoikkipinta-ala vaikuttaa edellisen perusteella olevan suuri. Aluksen tutka-herätettä pyrittiin pienentämään kansirakennuksen ja mastojen tutkasäteilyä absorboivalla materiaalilla [137]. Aluksen kansijärjestely on seuraavassa kuvassa (Kuva 34).

Samassa yhteydessä on esitetty tässä työssä useaan otteeseen mainittu DD-963:n rungolle tehty CG-47 *Ticonderoga* -luokan risteilijä (Kuva 35). Yksityiskohtana voidaan todeta, että CG-47:ssä Aegis-järjestelmään kuuluvan vaiheohjatun tutkan antennit on jaettu etummaiseen ja takimmaiseen kansirakennukseen taistelunkestävyyden lisäämiseksi, kun DDG-51:ssä vastaavat antennit ovat vain edessä olevassa varsinaisessa kansirakennuksessa. CG-47-luokka on edelleen palveluskäytössä.



Kuva 34. DD-963:n kansijärjestely [91].





Kuva 35. CG-47 Ticonderoga [97].

DDG-1000:n suurempi koko vaikuttaa luonnollisesti yleisjärjestelyyn, joten tilaratkaisuja ei voida selittää pelkästään suunnitteluvalinnoilla. Esimerkiksi DDG-1000:n helikopterin laskeutumisalusta (noin 45 m) on yli kaksi kertaa pidempi kuin DDG-51:llä (noin 21 m). Tässä tulee selvästi esiin alusten noin 27 m pituusero. Myös peräkansien korkeudessa on merkittävä ero, sillä DDG-1000:n peräkannen korkeus vesiviivalta on noin 6,7 m kun DDG-51:ssä se on matalimmillaan noin 4,0 m. [117]

Peräkannen korkeus yhdessä pitkän helikopterikannen ja peräpeilin leveyden kanssa vaikuttaa perän lastitilaan. DDG-1000:ssa pääkannen alla perässä on tila kahdelle 11 m pitkälle veneelle ja erikoisjoukkojen neljälle 4,7 m pitkälle kumiveneelle (Zodiac F470 CRRC, Combat Rubber Raiding Craft) [110]. Veneet voidaan laskea ja nostaa aluksen peräportista. Lisäksi perässä on tila hydrofonikaapelille ja sen kelalle. Vanhemmissa hävittäjissä ei ole lastitilaa perässä veneitä varten. DDG-51:ssä on kaksi 7 m pitkää kovapohjaista kumiveneettä, jotka ovat sijoitettu ulkokannelle aluksen taemman korsteenin oikealle puolelle. Niiden vesillelasku ja nosto tapahtuvat tavallisilla venetaaveteilla [137]. DD-963:ssa venetaavetit ovat taemman korsteenin molemmilla puolilla. Molempien vanhempien hävittävien perässä on ollut hydrofonikaapelit keloineen, mutta ne ovat poistettu pois lukien DDG-51 Flight I - ja II -alukset, joissa kyseinen järjestelmä on edelleen.

DDG-1000:n henkilöstömäärä (148 henkilöä) on noin puolet DDG-51:n (276 henkilöä) ja DD-963:n (noin 320 henkilöä) henkilöstömäärästä. DDG-1000:ssa jokaiselle miehistönjäselle on hyttipaikka, ja yhdessä hytissä on korkeintaan neljä henkilöä. Tällä ratkaisulla on pyritty parantamaan henkilöstön viihtyvyyttä verrattuna DDG-51:en, joka on varsin karu. DDG-51:ssä värvätyt on majoitettu skansseihin. Yhdessä skanssissa on makuusijat 20...60 henkilölle. Flight IIA -aluksissa on erilliset hyttitilat 4 naisupseerille, 6 naisaliupseerille ja 18 naisvärvätylle. Sen sijaan vanhemmassa DD-963:ssa henkilöstön viihtyvyyteen oli kiinnitetty huomiota. Yhdessä hytissä oli korkeintaan kuusi henkilöä, ja niissä oli myös yhteistä oleske-



lutilaa sekä kunnolliset saniteettitilat. Alun perin DDG-51:ssä on ollut 10 % ja DD-963:ssa peräti 20 % lisämajoituskapasiteetti. [110, 137]

## 5.5 Yhteenvedo laivateknisistä ratkaisuksista

Tässä yhteenvedossa laivateknisiä ratkaisuja ja niiden vaikutuksia tarkastellaan laivaan kohdistuvien uusien vaatimusten ja niiden aiheuttamien teknisten erojen ja ominaisuuksien näkökulmasta. Molempien tarkasteltavien hankkeiden, LCS:n ja DDG-1000:n, yhteenvedon loppuosassa on taulukko, johon on koottu tämän tutkimuksen aikana havaittuja alusten vahvuuksia ja heikkouksia. Vahvuudet ja heikkoudet on suhteutettu yleisiin laivateknisiin ominaisuuksiin, jolloin hyvinä ominaisuuksina voidaan pitää esimerkiksi pientä vastusta, rakenteen lujuutta ja hyvää kuljetuskykyä. Aluksiin vaikuttaneita keskeisiä ominaispiirteitä ja muita perusratkaisuja on kuvattu taulukon alkuosassa. Laiva on kompromissi eri ratkaisuksista. Tällöin esimerkiksi suuren nopeuden saavuttamiseksi tarvittava suuri teho on hyväksyttävä tosiasia. Kyseiset taulukot eivät välttämättä kuvaa todellisuutta tarkasteltujen alusten osalta, mutta ne nostavat esille niitä ominaisuuksia, joita kyseisen tyyppisillä aluksilla voi esiintyä.

Molempien hankkeiden yhteinen vaatimus oli henkilöstömäärän alentaminen, joka lähtökohdaisesti helpottaa laivan yleisjärjestelyn suunnittelua. Toisaalta pienemmän henkilöstömäärän voidaan olettaa vaikuttavan esimerkiksi taistelujärjestelmän osiin, joita pitää pystyä operoimaan aiempaa pienemmällä miehistöllä, sekä merellä tehtäviin huoltoihin ja vauriotorjuntaan. Pienempi henkilöstömäärä voi myös vaikuttaa työskentelyrytmiin ja sitä kautta henkilöstön taistelukykyyn. Edellä mainitut tekijät ovat kaikki huomion arvoisia, mutta tässä laivatekniikkaan paneutuvassa tutkimuksessa kyseisiä vaikutuksia ei tarkasteltu. Henkilöstömäärän pieneminen laivasuunnittelun lähtötietona voidaan katsoa olevan konseptisuunnittelun näkökulmasta suunnittelun vapautta lisäävä vaatimus. Tätä lähtökohtaa sovellettaessa on syytä kuitenkin pitää mielessä, että miehistön määrän aleneminen voi johtaa monimutkaisten teknisten ratkaisujen käyttöön myöhemmässä suunnittelussa halutun toiminnallisuuden takaamiseksi. Tästä voidaan mainita esimerkkeinä laivatekniikan osalta DDG-1000:n sähköinen koneisto sekä itsenäinen palonsammutusjärjestelmä, joka ei sisältynyt tässä tutkimuksessa tarkasteltuihin konseptisuunnittelun osa-alueisiin.

### 5.5.1 LCS: Lähtökohtana suuri nopeus ja modulaarisuus

LCS:n osalta keskeisiksi uusiksi vaatimuksiksi nousivat suuri nopeus sekä modulaarinen taistelujärjestelmä. LCS:n suurin nopeus, joka on puoliliukuvalla nopeusalueella, johti väistämät-

tä runkomuotoihin, joilla nopeus voidaan saavuttaa. LCS-1:n runkomuodoksi valittiin varsin tyypillinen yksirunkoinen ja teräväpalteinen runkomuoto, jolla pyrittiin osa nostovoi-  
masta saamaan dynaamisen paineen avulla perän vajoamisen estämiseksi ja siten nopeuden saavuttamisen mahdollistamiseksi. LCS-2:n trimaraanirunkomuodolla ja erittäin kapeilla rungoilla pyrittiin aallonmuodostuksen pienentämiseen. Trimaraanirungon vastus suurella nopeudella on pienempi kuin puoliliukuvan rungon, ja tästä johtuen LCS-2:n tarvitsema työntöteho oli selvästi pienempi kuin LCS-1:llä. Molemmissa aluksissa on kuitenkin erittäin suuri-  
tehoiset kuljetuskoneistot, jotka ovat käytännössä samaa suuruusluokkaa kuin hävittäjillä. Tästä johtuen koneiston tilatarve ja paino ovat suhteessa suurempia kuin isommilla aluksilla. Vesisuihkupropulsion käyttö on perusteltua sen hyvän suuren nopeuden hyötysuhteen ja rannikkomerillä mahdollisesti tarvittavan pienen syväyksen vuoksi.

Risteilynopeuksilla ja sitä alemmilla nopeuksilla molemmilla runkomuodoilla tuli esiin kulkuvastusta lisääviä tekijöitä. Puoliliukuvan rungon leveys sekä terävien palteiden aiheuttamat pallepyörteet ovat haitallisia kulkuvastuksen kannalta. Trimaraanirungolla yksirunkoiseen verrattuna suuri märkäpinta-ala kasvattaa kitkasta johtuvaa vastusta. Molemmissa aluksissa käytettävän vesisuihkupropulsion hyötysuhde ei ole risteilynopeuksilla yhtä hyvä kuin potkuripropulsion.

Vaikka edellä mainitut seikat vaikuttavat alusten polttoainetalouteen heikentävästi, kompensoi asiaa ainakin osittain CODAG-koneisto, jonka dieselmoottorien polttoainetalous on parempi kuin kaasuturbiinilla erityisesti osatehoilla. Koneisto itsessään mahdollistaa todennäköisesti ainakin kolme käyttötapaa, esimerkiksi 2 x GT + 2 x diesel, 2 x GT tai 2 x diesel huomioiden myös dieselmoottorien osatehot. FFG-7:n kapea pyöreäpalteinen runkomuoto ja yksi suurehko potkuri ovat hyviä vastuksen ja hyötysuhteen kannalta, mutta aluksen kaasuturbiinimoottorit ovat lähtökohtaisesti heikkoja polttoainetalouden kannalta erityisesti osatehoilla. Käyttötapoja on vain kaksi, 2 x GT tai GT. Tässä yhteydessä todettakoon, että CODAG-koneisto on tavanomainen ratkaisu fregattikokoluokan aluksissa, eikä sen käyttö rajoitu vain puoliliukuihin aluksiin.

LCS-2:n lastitila on leveydestä johtuen huomattavasti suurempi kuin LCS-1:n, mutta se sijaitsee suhteellisen korkealla veden pinnan tasosta tehden esimerkiksi veneiden vesille laskun vaikeammaksi. LCS:n kaltaiset nopeat alukset ovat yleensä painokriittisiä. Erityisesti LCS-1:n voidaan olettaa olevan painokriittinen, koska painon lisääntyessä dynaaminen paine ei ole riittävä vajoamisen estämiseksi. Toisaalta LCS-2:n kapeista rungoista johtuen sen vesiviivapinta-ala on suhteellisen pieni, jolloin painon lisäys kasvattaa syväyttä nopeasti. Tämä on

haaste erityisesti keula-alueella, jossa ei ole sivurunkojen tuomaa lisäuppoumaa, jolloin aluksen pitkittäissuuntainen kulma-asento eli viippaus muuttuu herkästi. Painomuutokset keula-alueella voivat siis muodostua ongelmaksi, samoin kuin jyskintä aallokossa.

Helikopterien ja muiden ilma-alusten operoinnin kannalta molemmat LCS:n ovat vakaita alustoja, tosin LCS-2 on omassa luokassaan sivurungoista johtuvan suuren keinunnanvaimennuksen vuoksi. Myös laskeutumisalustojen pinta-alat ovat suuria, ja esimerkiksi yksirunkoisen LCS-1:n laskeutumisalusta on yli 3 m leveämpi kuin FFG-7:n laskeutumisalusta puhumattakaan LCS-2:n valtavasta laskeutumisalustasta.

Taistelujärjestelmien sijoittaminen moduuleihin ja pääosin laskeutumisalustan alapuolisiin tiloihin on vapauttanut kansitilaa pituussuunnassa. Tähän on vaikuttanut myös taistelujärjestelmän perustuminen laajalti aluksen ulkopuolella operoitaviin järjestelmiin, jolloin järjestelmiä ei ole tarvinnut sijoittaa käytettävyyden kannalta juuri tiettyyn kohtaan alusta. Tämä on antanut myös hyvän lähtökohdan aluksen muotoilulle, koska suuri osa järjestelmistä on aluksen rungon sisällä. Tässä kohtaa on kuitenkin todettava, että LCS:n taistelujärjestelmä ei sisällä esimerkiksi pystylaukaisujärjestelmiä, vaiheohjattuja tutka-antenneja tai alussijoitteisia torpedoja, joilla olisi ollut merkittävä vaikutus yleisjärjestelyyn. Laivateknisesti tarkasteltuna voidaanakin hieman kärjistäen todeta, että LCS:n on laivana taistelujärjestelmän kuljetusalus. Myös aiemmin todettu henkilöstömäärän aleneminen verrattuna esimerkiksi FFG-7:än on vapauttanut tiloja muuhun käyttöön.

LCS-1:ssä käytettävä teräsrunko on lujuuden kannalta parempi kuin kevyempi alumiinirunko. Painokriittisyydestä johtuen teräsrunko voi olla ongelmallinen. LCS-1:n omapaino on noussut alun perin suunniteltua suuremmaksi, jolloin lopputuloksena on tilanne, jossa aluksen painoreservi on jo käytetty. Tästä johtuen tulevia aluksia joudutaan pidentämään. Aluksen kantavuudesta johtuen sen polttoainemäärä mahdollistaa noin 1/5 pienemmän toimintamatkan muiden käsiteltyjen alusten tyypillisiin toimintamatkoihin verrattuna.

LCS-2:n alumiinirakenteen omapaino on tutkimuksen aikaisten tietojen mukaan kevyempi kuin LCS-1:n omapaino, vaikka LCS-2:n rakenne on varsin suuri johtuen keskirungon ja sivurunkojen välisestä rakenteesta. Kevyemmän rakenteen hyviä puolia on suurempi kantavuus, jonka avulla esimerkiksi polttoainemäärä on saatu suuremmaksi kuin LCS-1:ssä. Toisaalta aluksen hyötykuormaa voinee kasvattaa jos polttoainekapasiteettia ei käytetä kokonaan. Trimaraanirakenteeseen voi kuitenkin kohdistua suuria poikittaisia kuormia, jolloin alumiinirakenteen lujuus voi muodostua ongelmaksi.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että nopeusvaatimuksella on ollut hallitseva vaikutus koko laivaratkaisuun ja vaikutukset ovat olleet merkittäviä: runkomuodot on optimoitu suurille nopeuksille, kuljetuskoneistojen tehot ovat aluksien kokoon nähden valtavia ja alukset ovat ainakin osittain painokriittisiä, joka vaikuttaa kantavuuden lisäksi rakenteiden mitoituksen kautta myös taistelunkestävyyteen. Modulaarisuus on johtanut LCS:n toteutustavalla aiempaa kuljetusalustyyppisempään ratkaisuun.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 10) on koonnoksena tämän tutkimuksen aikana muodostunut näkemys keskeisistä LCS-aluksien ja FFG-7:n laivateknisiin ominaisuuksiin liittyvistä vahvuuksista ja heikkouksista.

Taulukko 10. LCS-alusten ja FFG-7:n vahvuuksia ja heikkouksia.

Alus	LCS-1	LCS-2	FFG-7
Aluksen ominaispiirteet	Erittäin nopea (45 solmua). Modulaarinen taistelujärjestelmä. Pieni miehistö (75).	Erittäin nopea (45 solmua). Modulaarinen taistelujärjestelmä. Pieni miehistö (75).	Nopea (29 solmua). Kiinteä taistelujärjestelmä. Suuri miehistö (215).
Uppouma	3300 tonnia	3100 tonnia	4200 tonnia
Runkotyyppi	Puoliliukuva	Trimaraani	Uppoumarunkoinen
Runkomateriaali	Teräs	Alumiini	Teräs
Kansirakennusmateriaali	Alumiini	Alumiini	Alumiini
Koneistotyyppi	CODAG	CODAG	COGAG
Propulsiotyyppi	Vesisuihku	Vesisuihku	Potkuri
Vahvuuksia	+ Rungon vakavuus + Suuri lastitila + Lastitilan sijainti lähellä vedenpintaa + Suuri helikopterin laskeutumisalusta + Joustava koneiston käyttöprofiili + Propulsiohyötysuhde suurella nopeudella + Muotoilu tutkapoikkipinta-alan suhteen	+ Rungon vastus suurella nopeudella + Erinomainen vakavuus + Erittäin suuri lastitila + Erittäin suuri helikopterin laskeutumisalusta + Joustava koneiston käyttöprofiili + Propulsiohyötysuhde suurella nopeudella + Toimintamatka + Muotoilu tutkapoikkipinta-alan suhteen	+ Rungon vastus laajalla nopeusalueella + Kohtuullinen tarvittava teho + Propulsiohyötysuhde + Toimintamatka + Painoreservi + Rakenteen taistelunkestävyys
Heikkouksia	- Erittäin suuri tarvittava teho - Alhainen kantavuus - Epävarmuus rakenteen taistelunkestävyydestä - Rungon hyötysuhde risteilynopeuksilla - Propulsiohyötysuhde risteilynopeuksilla - Toimintamatka	- Suuri tarvittava teho - Epävarmuus rakenteen taistelunkestävyydestä - Epävarmuus poikittaisten aaltokuormien kantokyvystä - Rungon hyötysuhde risteilynopeuksilla - Propulsiohyötysuhde risteilynopeuksilla - Pitkittäinen vakavuus - Lastitilan sijainti korkealla	- Rungon keinuntaominaisuudet - Suppea koneiston taloudellinen käyttöprofiili - Hoikka runko on oletettavasti tilarajoitettu - Muotoilu tutkapoikkipinta-alan suhteen

### 5.5.2 DDG-1000: Lähtökohtana alhainen heräte ja sähköinen koneisto

DDG-1000:n osalta uusiksi vaatimuksiksi nousivat pitkälle viety alhainen heräte, erityisesti tutkaheräte, sekä kokonaan sähköisen koneiston soveltaminen. DDG-1000:n runkomuoto perustuikin ensisijaisesti häiveteknisiin vaatimuksiin. Muodon lisäksi se vaikutti aluksen kokoon, sillä esimerkiksi keinunnavaimennustankit vaativat merkittävästi tilaa aluksen rungosta. Tällä pyrittiin siihen, että aluksen keinuntaliike olisi mahdollisimman vähäistä. Toisaalta sähköinen koneistoratkaisu oli varsin painava, joten sitä ei olisi ollut mahdollista toteuttaa nyt sovellettavalla tekniikalla ja tarvittavalla teholla pienemmissä aluksissa. Taistelujärjestelmään liittyvä keskeinen aluksen kokoon vaikuttava muutos verrattuna DDG-51:n oli kahden suuren 155 mm tykin sisällyttäminen järjestelmään yhden 127 mm tykin sijasta. Voidaankin todeta, että tunnistetut suunnittelua ohjanneet vaatimukset vaikuttivat alukseen kokoon sitä kasvattavasti.

Kulkuvastuksen näkökulmasta aluksen runkomuoto vaikuttaa onnistuneelta, koska aluksen kuljetuskoneiston teho on samaa suuruusluokkaa kuin huomattavasti pienemmässä DDG-51:ssä niiden suurimpien nopeuksien eron ollessa pieni. Ylöspäin kapeneva runkomuoto yhdistettynä alavirtausperään voi kuitenkin aiheuttaa vakavuusongelmia suuressa aallokossa, ja toisaalta aluksen reserviuppouma on suhteessa pienempi kuin pystysuorilla kyljillä tai ulospäin kallistetuilla kyljillä varustetuilla aluksilla. Vaikka alus onkin ainakin pienillä kallistuskulmilla vakaa ja sen jyskintä lieenee vähäistä, liittyy sen merikelpoisuuteen, erityisesti dynaamiseen vakavuuteen ja perän paineiskuihin korkeassa aallokossa sekä vauriotilanteen kelluvuuteen ja vakavuuteen riskejä. Toisaalta pieni jyskintä suuressa aallokossa johtaa helposti ”vettä kannella” -tilanteeseen, joka olisi erityisen hankalaa, jos kannelle olisi sijoitettu varustusta tai kannella pitäisi työskennellä.

DDG-1000:n normaalista poikkeava runkomuoto mahdollisti uudenlaisen asejärjestelmien sijoittelun eli pystylaukaisujärjestelmä sijoitettiin aluksen laidoille, jolloin aluksen pituussuunnassa keskiosaan jäi tilaa esimerkiksi keulassa tykeille sekä perässä lastitilalle. Aluksen rungon huomattavasti suurempi tilavuus kuin vanhemmilla hävittäjillä mahdollisti yleisjärjestelyn suunnitteluun vapautta ja sellaisien tilojen sijoittamisen, kuten esimerkiksi lastitilan, joita ei ollut vanhemmissa aluksissa. Tämän perusteella aluksen myöhempi modifiointi voisi olla ainakin tilojen puolesta helposti toteutettavissa. DD-963:ssa modifiointimahdollisuus pyrittiin aikanaan takaamaan riittävän pitkällä rungolla. Se oli lisäksi edullinen sekä kulkuvastuksen että merikelpoisuuden kannalta.

DDG-1000:ssa on periaatteeltaan edistysellinen, mutta tekniseltä toteutukseltaan koeteltuihin oikosulkumoottoreihin perustuva kuljetuskoneista osana kokonaan sähköistä laivaa. Koneiston sijoittelu on kuitenkin varsin tavallinen verrattuna ei-sähköisellä koneistolla varustettuihin aluksiin. DDG-1000:n voimalaitosperiaatteeseen perustuva sähköinen kuljetuskoneisto on laajalla nopeusalueella joustavampi ja taloudellisempi kuin kaasuturbiinikoneisto. Sähköinen kuljetuskoneisto on oletettavasti hiljainen, tosin taajuusmuuttajiin liittyy pieni riski. Toisaalta, joustavasti asennettuihin kaasuturbiineihin perustavat aluksetkaan eivät ole erityisen äänekkäitä. Keskeinen sähköiseen kuljetuskoneistoon liittyvä tekijä on sen suuri paino, josta johtuen DDG-1000 ei olisi voinut olla kooltaan juurikaan pienempi. Eräs keskeinen ero nyt käsiteltyjen hävittäjien voimalaitosperiaatteen ja mekaanisen voimansiirron osalta on kaasuturbiinien lukumäärä. Vanhemmissa hävittäjissä on neljä suurta ja kolme pientä eli yhteensä seitsemän kaasuturbiinia verrattuna DDG-1000:n kahteen suureen ja kahteen pieneen eli yhteensä neljään kaasuturbiiniin.

Suurehkoilla uppoumarunkoisilla pintataistelualuksilla, kuten hävittäjillä, teräs on edelleen perusrunkomateriaali. Aluksille on yhteistä myös suurehko, noin 10 % painomarginaali, joka on mahdollistanut ja mahdollistaneen painon osalta aluksiin tehtävät myöhemmät muutokset. Kansirakennusten osalta on ollut erilaisia toteutuksia aikakauden teknisistä mahdollisuuksista ja vaatimuksista johtuen. Häivetekniikan keskeisin vaikutus rakenteiden osalta on ollut komposiittikerrosrakenteinen kansirakennuksen yläosa. Rakennemateriaalilla on pyritty pienentämään muun muassa infrapunaherätettä, ja tämän vuoksi pakokaasukanavat on viety kansirakennuksen läpi. Vanhempien alusten osalta infrapunaherätteen huomioinnista ei ollut mainintoja. Kevyt komposiittirakenne on mahdollistanut myös tilavan, ja erityisesti korkean ylärakenteen, johon aluksen sensorit saadaan sijoitettua, joko rakenteen pintaan tai sen sisälle. DDG-1000:n tapauksessa komposiitille ei liene ollut edes vaihtoehtoa, ainakaan metallirakennetta, painon ja painopisteen vuoksi. Hankkeiden tarkastelun yhteydessä esille nousi kuitenkin komposiittirakenteen valmistukseen liittyviä ongelmia. Suhteellisen kapean DD-963:n painopiste saatiin pidettyä matalla alumiinisella kansirakennuksella teräksisen sijasta. DDG-51:llä kansirakennuksen taistelunkestävyyttä haluttiin parantaa käyttämällä rakennemateriaalina terästä, joka vaikutti kasvattavasti painopisteen korkeuteen. Osittain tästä syystä alus on suhteessa leveämpi kuin esimerkiksi DD-963. DDG-51:n osalta teräsyliarakenteen aiheuttama korkea painopiste on ollut ongelmallinen, ja sen vakavuuden takaamiseksi aluksen kulutettu polttoaine on kompensoitava painolastivedellä painopisteen nousun estämiseksi.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 11) on koonnoksena tämän tutkimuksen aikana muostunut näkemys keskeisistä hävittäjien laivateknisiin ominaisuuksiin liittyvistä vahvuuksista ja heikkouksista.

Taulukko 11. Hävittäjien vahvuuksia ja heikkouksia.

Alus	DDG-1000	DDG-51	DD-963
Aluksen ominaispiirteet	Alhainen heräte. Sähköinen koneisto. Suuret tykit. Pieni miehistö (148).	Taistelunkestävyys. Merikelpoisuus. Suuri miehistö (276).	Muunneltavuus. Kulkuvastus. Suuri miehistö (320).
Uppouma	14600 tonnia	9700 tonnia	9200 tonnia
Runkotyyppi	Tumblehome	Uppoumarunkoinen	Uppoumarunkoinen
Runkomateriaali	Teräs	Teräs	Teräs
Kansirakennusmateriaali	Teräs/Komposiitti	Teräs	Alumiini
Koneistotyyppi	Sähköinen	COGAG	COGAG
Propulsiotyyppi	Kiinteäsiipinen potkuri	Säätösiipipotkuri	Säätösiipipotkuri
Vahvuuksia	+ Kulkuvastus ja tarvittava teho + Painoreservi + Runkomuodon mahdollistama aseiden sijoittelu + Suuret tilat + Kaasuturbiinien lukumäärä (4) + Koneiston käyttöprofiili ja heräte + Sähköntuottoteho	+ Runkomuodon liikkeet aallokossa + Rakenteen taistelunkestävyys + Alkuperäinen painoreservi + Flight IIA -alusten kulkuvastus (perälippa) + Muunneltavuus (esim. hangaarien lisäys jälkikäteen)	+ Kulkuvastus ja tarvittava teho + Suuri toimintamatka + Alkuperäinen paino- ja pituusreservi + Muunneltavuus (esim. VLS-järjestelmän lisäys jälkikäteen ja rungon käyttö CG-47:ssä)
Heikkouksia	- Runkomuodon vauriovakavuus - Epävarmuus dynaamisesta vakavuudesta suuressa aallokossa - Riski alavirtausperän paineiskuihin - Kuljetuskoneiston paino - Vaimennustankkien paino ja tilavuus - Epävarmuus kansirakennuksen valmistustekniikasta	- Rakenteen korkea painopiste ja tarve kulutetun polttoaineen kompensointiin - Kaasuturbiinien lukumäärä (7) - Koneiston suurehko teho - Suppea koneiston taloudellinen käyttöprofiili - Hankkeen aikainen rungon ”minimointi” - Asuintilat	- Kaasuturbiinien lukumäärä (7) - Suppea koneiston taloudellinen käyttöprofiili - Hoikka runko on oletettavasti tilarajoitettu - Suuret kansirakennukset ja niiden muotoilu tutkapoikkipinta-alan suhteen - Kapean rungon liikkeet aallokossa



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA POHDINTAA

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten DDG-1000- ja LCS-hankkeissa kehitettävien taistelualusten laivatekniset ratkaisut ovat vaikuttaneet aluksien ominaisuuksiin. Tehtäviin ja hankkeisiin liittyviin alatutkimuskysymyksiin vastattiin luvussa 4 ja laivateknisiin ratkaisuihin ja ominaisuuksiin liittyvään alatutkimuskysymykseen vastattiin luvussa 5. Yleisiä ratkaisuihin ja vaatimuksiin liittyviä huomioitavia asioita käsitellään tämän pohdinnan loppuosassa.

Tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa on huomioitava, että tutkitut tiedot perustuivat julkisiin lähteisiin ja ne olivat varsin yleisellä tasolla. Esimerkiksi laivojen piirustuksia tai koeraportteja ei ollut käytettävissä. Tarkemmat tiedot olisivat voineet luonnollisesti muuttaa tuloksia. Toisaalta aluksista ja hankkeista oli saatavilla huomattavan paljon julkista tietoa, ja tästä syystä on myös mahdollista, että olennaista saatavissa olevaa tietoa ei huomattu. Aineiston keräämisen kannalta kirjallisuusselvitys oli toimiva menetelmä, mutta edellä mainitusta tiedon runsaudesta johtuen käytettävää aineistoa olisi voinut rajata selkeämmin. Tutkimus oli aikadonnainen, sillä tarkasteltavat hankkeet ovat edelleen käynnissä, ja tietoa niistä tulee kokoajan lisää. Tästä johtuen tämän tutkimuksen tiedot voivat olla jo vanhentuneita tutkimuksen julkaisuajankohtana. Laivan konseptisuunnittelun keskeisten osa-alueiden käyttö laivatekniikan analysoinnin mallina mahdollisti tutkimuksen laivateknisen osuuden rakenteellistamisen. Konseptisuunnittelun malli on kuitenkin kohtalaisen pelkistetty, jolloin tuloksetkin jäävät suhteellisen yleiselle tasolle. Toisaalta sekä lähtötiedot että tuloksen ovat tasapainossa toisiinsa nähden, sillä kuten edellä mainittiin, olivat tutkitut tiedot myös yleisellä tasolla. Tutkimuksessa tehdyt päätelmät on pyritty tekemään yleisesti hyväksyttyjen laivatekniikan peruseriaatteiden näkökulmasta, joten tämän tyyppisiä teknisiä ratkaisuja ja niiden vaikutuksia jouduttaisiin joka tapauksessa huomioimaan. Tuloksia ei siis pidä käsittää ehdottomina totuuksina, vaan ennemminkin kyseisiin vaatimuksiin, ratkaisuihin ja ominaisuuksiin liittyvinä arvioina.

Laivoja tarkasteltiin kahdesta, hankkeiden ja laivatekniikan, näkökulmasta. Tutkimuksen pääasiallinen kohde oli laivatekniikka ja erityisesti teknisten ratkaisujen soveltamisessa tapahtunut kehitys. Uusien teknisten sovellusten käyttöönotto tehdään osana hankkeita, joten hankkeet loivat tarkastelulle kokonaiskehityksen. Hankkeita käsiteltiin tässä tutkimuksessa lähinnä tapahtumien kautta. Niiden toteutumiseen vaikuttaneita syitä ei tutkittu syvällisesti, mutta esiin tulleita tekijöitä kuitenkin arvioitiin kokonaisuuden hahmottamiseksi. Jos tarkasteltavat hankkeet olisivat jo päättyneet, olisi hanketarkastelua laivatekniikan näkökulmasta voitu supistaa merkittävästi. Hankeosuuden annettiin tarkoituksella jäädä suhteellisen laajaksi, jotta

tämän tutkimuksen aikana kerätty tieto jäisi dokumentoituna esimerkiksi sotatalouden tutkimusten taustatiedoksi. Tutkimuksen aikana syntyi joka tapauksessa vaikutelma, että vanhojakin hankkeita kannattaa tarkastella ainakin siten, että keskeiset hankkeen vaatimukset sekä hankkeen aikaiset merkittävät tapahtumat ja päätökset ovat tiedossa perusteina tehdyille ratkaisuille. Tällöin ”huonon tuntukselle” tekniselle ratkaisulle voi löytyä jokin muu peruste kuin esimerkiksi epäonnistunut suunnittelu. Esimerkkinä tällaisesta ratkaisusta on DDG-51:n koon rajoittaminen kustannussyistä.

Tutkimustulosten lähtökohtana on havainto DDG-1000:n ja LCS:n vaatimusten perustumisesta varsin tarkasti määriteltyihin tehtäviin osana rannikkomerioperointia. Molemmissa alusluokissa pyrittiin myös aiempaan huomattavasti pienempään henkilöstömäärään. LCS:n osalta varsinaisia design drivereita olivat suuri nopeus sekä modulaaristen järjestelmien käyttö ja DDG-1000:n osalta alhainen heräte sekä sähköisen koneiston käyttäminen. Nämä vaatimukset olivat sen tyyppisiä, että ne johtivat edellisiin fregatti- ja hävittäjäskupolviin verrattuna poikkeuksellisiin ratkaisuihin. Esille nousi jo hankkeiden aikana tapahtuneet muutokset perustavaa laatua olevissa vaatimuksissa, kuten hävittäjien toiminta-alueen muutos takaisin valtameritoimintaan. Laajemmin tarkasteltuna koko Yhdysvaltojen pintataistelualusten hankintojen johdonmukaisuus on herättänyt arvostelua.

DDG-1000:n hankintatapaa leimasi tarve kehittyneisiin ratkaisuihin ja LCS:n hankintatapaa leimasi tarve nopeaan suorituskyvyn käyttöön saamiseen. Molemmissa hankkeissa tapahtui lukuisia muutoksia, ja erityisesti DDG-1000-hankkeessa korostui hallinnon ohjaus. Vaikka pyrkimyksenä olikin kilpailutilanteen luominen ja siten kustannusten hallitseminen, ajoi hallinnon ohjaus teollisuuden toimintaedellytyksiä tukeviin ratkaisuihin. Uusilla hankintavoilla ei kyetty hallitsemaan kustannuksia, ja molemmissa hankkeissa kustannusten kasvu on ollut merkittävää, tosin DDG-1000-hankkeessa ne ovat olleet aivan omaa luokkaansa. Kilpailun puuttumisen lisäksi DDG-1000-hankkeen kustannusten kasvu vaikutti johtuvan lukuisista uusista teknisistä järjestelmistä ja LCS-hankkeessa nopean hankintatavan aiheuttamissa teki-jöistä kuten esimerkiksi suunnittelusta rakentamisen aikana sekä rakennusvalvonnan puutteista.

Kuten edellä todettiin, hankkeiden kehittämiskustannukset ovat olleet suuria. Eräs tapa tasata hankkeiden kehittämiskustannuksia olisi järjestelmien myyminen muille valtioille. Lienee syytä olettaa, että DDG-1000:n kokoisille aluksille ei edes lähtökohtaisesti ole suuria markkinoita. Yhdysvaltojen päätös keskeyttää alusluokan hankinta vain kolmeen alukseen antaa vahvan viestin hankkeen epäonnistumisesta, jolloin edes teoreettisilla asiakkaila ei liene mie-

lenkiintoa alusluokkaan. LCS:n kokoluokan aluksille on olemassa markkinoita. Tästä esi-  
 merkinä voidaan mainita sen edeltäjän FFG-7:n ja siihen perustuvien alusten myynti lukui-  
 sille laivastoille. Mielenkiintoista onkin nähdä, onko muilla valtioilla tarvetta LCS:n tyyppi-  
 selle erittäin nopealle ja aluksen ulkopuolisiin järjestelmiin perustuvalla taistelualukselle.

Esille tuli molempien hankkeiden vaatimuksiin kohdistunutta kritiikkiä. Tutkimuksessa ei  
 otettu varsinaisesti kantaa siihen, oliko vaatimukset todella perusteltuja. Tässä tutkimuksessa  
 kritiikki kohdistuu alkuvaiheen konseptisuunnittelun ”laiminlyöntiin”, eli tilanteeseen jossa  
 asiakas vain laatii vaatimukset ja teollisuus pyrkii parhaansa mukaan toteuttamaan ne. Tällöin  
 vaarana on, että vaatimusten vaikutuksia ei ymmärretä ja toisaalta teknisten ratkaisujen toimi-  
 vuutta ja kokonaisuutta ei varmisteta. Hieman tähän liittyen, Jyri Kosola on kirjoittanut [50]  
 helmikuun 2011 Sotilasaikakauslehdessä, lähteenään Defense News, Yhdysvaltojen puolus-  
 tusministeriön tyytymättömyydestä vaatimusten hallinnan osaamiselle, joka on johtanut tar-  
 peettoman monimutkaisten ja kalliiden järjestelmien hankintaan. Artikkelin mukaan keskeiset  
 kehitettävät seikat ovat kyky määritellä tapauskohtaisesti tarkoituksenmukaisia vaatimuksia  
 sekä ymmärtää teknologian tarjoamat mahdollisuudet ja sen rajoitukset. Oman näkemykseni  
 mukaan alkuvaiheen konseptisuunnittelu ennen lopullisten vaatimusten laatimista antaisi ”pa-  
 lautteen” vaatimuksista ja siten tukisi edellä mainittujen tekijöiden toteutumista sekä lisäisi  
 vaatimusten esittäjien ja teknisten kehittäjien keskinäistä ymmärrystä tavoitteista ja mahdolli-  
 suuksista.

Tutkimuksen aikana syntyi näkemys, jonka mukaan Yhdysvaltojen pintataistelualuksiin liit-  
 tyvässä ajattelutavassa tapahtui muutos ”yleislaivoista” ”erikoislaivoihin” DD(X)-alusperheen  
 myötä. FFG-7:n ja DDG-51:n hankintojen aikana aluksien tyyppiä luonnehdittiin varsinaisen  
 alustyyppin, esimerkiksi fregatti ja hävittäjä, lisäksi käsitteillä *low-end* ja *high-end*. Edellinen  
 käsite kuvasi lukumäärältään suurta, mutta sotilaalliselta suorituskyvyltään hieman vaatimat-  
 tomampaa alusluokkaa. Jälkimmäinen käsite viittasi vahvasti aseistettuun taistelualukseen.  
 FFG-7 oli sukellusveneentorjuntaan painottunut saattaja, jolla oli myös kohtalainen kyky pin-  
 ta- ja ilmatorjuntaan. DDG-51 oli suunniteltu monikäyttöiseksi pintataistelualukseksi, jolla oli  
 kyky sukellusveneeseen-, pinta- ja ilmatorjunnan lisäksi ohjusiskuihin maalle. Tutkimuksen ai-  
 kana ei noussut esille, että vanhempia aluksia olisi suunniteltu tai optimoitu tiettyyn skenaar-  
 ioon, vaan pikemminkin ne oli suunniteltu ”työhevosiksi”.

LCS suunniteltiin osaksi verkostokeskeistä sodankäyntiä. Sen rooli on luoda toimintaedelly-  
 tyksiä rannikkomerillä vaikuttamalla siellä esiintyviin uhkiin. LCS:n rooli on varsin erilainen  
 kun sen edeltäjillä, joiden eräs keskeinen tehtävä on ollut toimia valtamerisaattajina. Olisikin

mielenkiintoista nähdä, kuinka LCS soveltuisi tähän ”vuosisataiseen” tehtävään. Modulaarisuuden taistelujärjestelmän avulla alukselle on voitu antaa vaihtoehtoisia rooleja. LCS:n taistelujärjestelmän osalta korostui vielä modulaarisuutta enemmän taistelujärjestelmän perustuminen pitkälti aluksen ulkopuolella operoitaviin järjestelmiin. Aluksen perusjärjestelmän aseistus on vaatimatonta 57 mm tykillä ja RAM-ilmatorjuntaohjuksilla verrattuna esimerkiksi Hamina-luokan ohjusveneeseen (uppouma 250 tonnia), jossa on vastaavan kokoinen tykki, tehokkaampi Umkhonto-ilmatorjuntaohjusjärjestelmä sekä RBS15-meritorjuntaohjusjärjestelmä.

LCS:n suuren nopeuden todellinen tarve ei selvinnyt tässä tutkimuksessa. Esille nousi erilaisia näkökulmia nopeuteen kuten tarve saada vaihdettua aluksen tehtävä ja moduulit nopeasti, aluksen ulkopuolella operoitavien järjestelmien siirrot operaatioalueella ja nopeuden tarjoama suoja. Laivateknisten ratkaisujen kannalta siitä muodostui joka tapauksessa merkittävä tekijä, joka määrittäisi LCS-alusten runkotyypit, valtavan hävittäjäkokoluokan koneistotehon sekä teki aluksista ainakin osittain painokriittisiä. LCS:ien CODAG-koneistot ovat, suurta tehoa lukuun ottamatta, varsin yleisiä fregatti-kokoluokan aluksissa. Suurilla nopeuksilla toimimaan suunniteltujen alusten vastusominaisuudet enemmän käytettävillä hitaammilla nopeuksilla eivät ole yhtä hyvät kuin uppoumarunkoaluksilla.

Vaikka molemmat LCS:t ovat tilavia ja vakaita, ja siten sopivat hyvin moduulien kuljetukseen, on niiden keskeinen haaste nopeiden runkotyyppien herkkyys painon muutoksille. Tämä voi vaikuttaa erityisesti elinkaaren aikaisiin muutostarpeisiin, jotka aiempien alusten osalta ovat johtaneet alusten painonkasvuun. LCS:ien painokriittisyys on myös vaikuttanut alusten taistelunkestävyyteen. Joidenkin arvioiden mukaan ulkopuolisten järjestelmien käytöllä aluksien ei tarvitse mennä suoraan asevaikutuksen piiriin, mutta ei tunnu täysin uskottavalta, että tilannekuva olisi aina niin hyvä, että tarkka uhan sijainti olisi tiedossa.

Ulkopuolisten järjestelmien käyttö on tehnyt LCS-alusten kansiratkaisut varsin selkeiksi. Alusten yleisjärjestely muuttuisi kuitenkin merkittävästi, jos taistelujärjestelmä perustuisi alukseen sijoitettaviin järjestelmiin ja aseistus olisi nyt suunniteltua tehokkaampaa. Selvyyden vuoksi on todettava, että jos halutaan nimenomaan LCS:n tyyppistä modulaarisuutta, joka perustuu pitkälti lastitilaan ja siten kuljetusalustyyppiseen ratkaisuun, tarjoaa nykyaikaisen matkustaja-autolautan kohtuullisen nopea uppoumarunko erään vaihtoehdon. Esimerkiksi lähteessä [33] on määritetty kulkuvastus kyseisen tyyppiselle alukselle  $F_n = 0,394$ , joka vastaa 110 m vesiviivan pituudella noin 25 solmun nopeutta.

DDG-1000 suunniteltiin tilanteeseen, jossa laivatykistötulta käytetään vastustajan rannikon läheisyydessä. Aluksen suojan, ja myös tulenkäytön yllätyksellisyyden vuoksi aluksen havaittavuuden tuli olla erittäin hankalaa. Tästä johtuvasta häivevaatimuksesta tuli DDG-1000:n suunnittelua hallitseva tekijä. Ilman sitä aluksen runkomuodoksi olisi tuskin valittu sisäänpäin kallistetuilla kyljillä ja taaksepäin kallistetulla keulalla varustettua runkomuotoa. DDG-1000:n taistelujärjestelmä on hävittäjälle tyypillisesti monipuolinen, mutta se on ainakin toistaiseksi varsin uniikki. Esimerkiksi uudet 155 mm tykit, Mk 57 -pysty-laukaisujärjestelmä sekä taistelunjohto- ja tietojärjestelmät ovat kehitetty DDG-1000-konseptia varten. On mielenkiintoista nähdä, pystytäänkö näitä järjestelmiä sellaisenaan tai edelleen kehitettyinä käyttämään tulevaisuudessa aluksissa vai jäävätkö ne DDG-1000-laivojen tapaan yksittäiskappaleiksi. Taistelujärjestelmän osalta voidaan siis todeta, että kaikki sen merkittävät osajärjestelmät olivat uusia, joka on vaikuttanut niiden kehitykseen ja kustannuksiin. Sekä häivetekniset vaatimukset että taistelujärjestelmä ovat vaikuttaneet aluksen suureen kokoon.

DDG-1000:n runkomuoto herättää huolestuttavia kysymyksiä. Laivasuunnittelun peruslähtökohtia ovat laivan kelluvuus ja vakavuus. DDG-1000:n runkomuodon vauriovakavuus ja dynaaminen vakavuus ovat osoittautuneet, jos ei huonoiksi, niin ainakin kyseenalaisiksi. Mielestäni on erikoista, jos alukselle joudutaan tekemään vielä valmistuksen aikana uusia pienoismallikokeita koska alukseen epäillään simulointien perusteella voivan jopa kaatua suuressa aallokossa. Myös mahdollisen aallokkoajo-ohjeistuksen, joka voitaneen tulkita osittain käyttörajoitukseksi, tarpeen arviointi noin 15000 tonnin uppouman taistelualukselle indikoi epävarmuutta aluksen merikelpoisuusominaisuuksista. Kuten tässä tutkimuksessa todettiin, DDG-1000:n tyyppistä runkomuotoa on pyritty välttämään juuri edellä mainittujen mahdollisten ongelmallisten ominaisuuksien vuoksi. Tätä lähtökohtaa tukee myös reaali maailma: tumblehome-tyyppinen runkoratkaisu ei ole yleinen tavallisilla kauppa-aluksilla. Jos tumblehome-runko tarjoaisi hyviä ominaisuuksia, niin olisi oletettavaa, että sitä olisi sovellettu kaupalaivoissa. DDG-1000:n runkomuotoa ei voi kuitenkaan täysin tuomita ennen kuin sen ominaisuuksista saadaan lisätietoa. Esimerkiksi sen vastusominaisuudet vaikuttavat hyviltä. Yleistykseenä voi kuitenkin tässä vaiheessa todeta, että häiveominaisuuksien lisäksi ei esille tullut muita kyseistä runkomuotoa erityisesti tukevia hyviä ominaisuuksia.

DDG-1000:ssa käytettävät keinunnanvaimennustankit ja kokonaan sähköinen koneisto ovat osaltaan vaikuttaneet laivan suureen kokoon. Keinunnanvaimennustankit eivät ole realistinen vaihtoehto pienemmissä aluksissa niiden suuren tilatarpeen ja painon vuoksi. Tämän tutkimuksen tietojen perusteella DDG-1000:ssa keinunnanvaimennustankkien käyttö liittyy tilan-

teeseen, jossa aluksen liike osana havaittavuuden minimointia halutaan vaimentaa. Sähköisen koneiston hyvä ominaisuus taistelualuksen suorituskyvyn kannalta on hiljaisuus esimerkiksi sukellusveneentorjuntatehtävissä, ja se on sijoittelultaan ja käyttöprofiililtaan erittäin joustava. Vaikka kokonaan sähköinen koneisto koetellulla tekniikalla ei ole realistinen vaihtoehto painon vuoksi pienemmissä pintataistelualuksissa, voisi osittain sähköinen koneisto olla niiden osalta varteenotettava vaihtoehto edellä mainittujen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Sähkötekniisten ratkaisujen kypsyminen voi tulevaisuudessa tuottaa sellaisia uusia kevyempiä kokonaan sähköisiä koneistoja, joita DDG-1000-hankkeessa yritettiin aluksi soveltaa. Tällöin kokonaan sähköinen koneisto voisi olla mahdollinen myös pienemmissä pintataistelualuksissa.

DDG-1000-hankkeen päättäminen kolmeen laivaan ja CG(X)-hankkeen, jonka oli tarkoitus perustua DDG-1000-laivaan, peruuttaminen ja niiden korvaaminen DDG-51:llä ja sen tulevala versiolla asettaa vastakkain kaksi varsin erityyppistä laivaa. DDG-1000:n uppouma on noin 50 % suurempi kuin DDG-51:n ja niiden runkomuodot ovat täysin erilaiset. Yksinkertaisesti ajatellen voisi olettaa, että laivateknisesti järkevä perääntymisvaihtoehto olisi ollut uuden, mutta tavalliseen uppoumarunkoon perustuvan laivan suunnittelu. DDG-1000:n kehittämiseen kuluneen valtavan rahamäärän vuoksi on kuitenkin ymmärrettävää, että taloudellisesti järkevin vaihtoehto on koetellun ratkaisun käyttäminen. DDG-51:n käyttö tulevaisuudessa osoittaa mielestäni, että se on puutteineenkin teknisesti hyväksyttävä vaihtoehto.

DDG-51 on jo ”vanha” laiva, sillä sen laivatekninen perusta ja runkomuotoilu ovat 1980-luvulta. Yleisesti voidaan todeta, että kyseisen ajanjakson jälkeen esimerkiksi alusten kulkuvastusta on saatu alennettua laskennalliseen virtausmekaniikkaan perustuvan ja mallikokeilla varmistetun runkomuotojen suunnittelun avulla. DDG-51:n keskeinen puute on mielestäni suunnittelun aikainen koon ”minimointi”. Aluksen kokoa pyrittiin kontrolloimaan kustannusten hallitsemiseksi, vaikka erityisesti rungon osuus aluksen hinnasta, taistelujärjestelmä huomioiden, oli suhteellisen pieni. Sekä DDG-51:n ja FFG-7:n alkuperäisiä runkoja on jouduttu pidentämään muutamilla metreillä sarjojen myöhemmissä aluksissa. Tämänkin perusteella vaikuttaa siltä, että aluksen pituuden ehdoton rajoittaminen suunnittelun aikana ei ole järkevää. DD-963:ssa käytettiin erilaista lähestymistapaa; sen runko tehtiin tarkoituksella riittävän pitkäksi, jotta alusta voitaisiin tarvittaessa modifioida.

Tässäkin tutkimuksessa on tullut ilmi kuinka koneiston teho on riippuvainen aluksen nopeudesta. Esimerkiksi LCS-1:ssä (3300 tonnia, 45 solmua, 85 MW) ja huomattavasti suuremmis- sa DDG-51:ssä (9700 tonnia, 31 solmua, 75 MW) sekä DDG-1000:ssa (14600 tonnia,

30 solmua, 78 MW) on samaa kokoluokkaa olevat koneistot nopean LCS-1:n koneiston ollessa suuritehoisin. Toisaalta aluksen koon maltillinen kasvu ei merkittävästi muuta koneistoa ja sen hintaa, jonka arvioitiin DDG-51:n tapauksessa olevan noin 30 % aluksen hinnasta. Nopeus on siis merkittävä tekijä, mikä ei sisäänsä ole uusia asia. Sen vaikutus ei koske ainoastaan erittäin nopeita aluksia, vaan myös uppoumarunkoaluksia. Kuten kuljetuskoneiston käsittelyssä tuli ilmi, niin esimerkiksi FFG-7:n nopeus täydellä teholla on 29 solmua ja 50 % teholla 25 solmua. Yleisesti voidaan todeta, että nopeilla uppoumarunkonopeuksilla,  $F_n \approx 0,30 \dots 0,50$ , tehontarve kasvaa voimakkaasti nopeuden funktiona. Siirryttäessä puoliliukuvalla nopeusalueelle, selvästi yli  $F_n > 0,50$ , myös aluksen runkotyyppi muuttuu toisenlaiseksi tehon kasvun ohella. LCS:ien runkoratkaisut perustuivat siis nopeusvaatimukseen, jota ei olisi ollut mahdollista toteuttaa uppoumarunkoratkaisulla.

Tämän tutkimuksen aikana syntyi joitain yleisiä näkemyksiä vaatimuksiin ja ratkaisuihin liittyen, joita kannattanee huomioida mahdollisissa tulevilla hankkeissa. Aluksen optimointi tehtäviin voi mahdollistaa lyhyellä aikavälillä ylivoimaisen suorituskyvyn, mutta pitkän aikavälin erilaisten tehtävien mahdollistamiseksi tehtävien väljä määrittely voi olla toteuttamiskelpoisempi ratkaisu, erityisesti jos optimointi tehtäviin johtaa erikoiseen ratkaisuun. Molemmissa nyt tarkastelluissa hankkeissa optimointi johti edellisistä alussukupolvista poikkeaviin runkoratkaisuihin, joihin olisi tuskin päädytty ilman optimointia. Runkoratkaisu on perustavaa laatua oleva tekijä, jota ei voi muuttaa merkittävästi jälkikäteen. Perinteinen nopea uppoumarunkoinen alus ei mahdollista puoliliukuvia nopeuksia tai parhaita häiveominaisuuksia, mutta se on merikelpoisuuden, aluksen elinkaareen sisältyvien muutosten ja taistelunkestävyyden kannalta hyvä vaihtoehto. Toisaalta uppoumarunkoisenkin aluksen ominaisuuksiin vaikuttaa rungon mittasuhteet ja muoto, eikä yleistä parasta vaihtoehtoa ole.

Nopeusvaatimus tulisi asettaa harkiten, koska sillä on hallitseva vaikutus laivateknisiin ratkaisuihin käytännössä kaikilla osa-alueilla. Erityisesti siirtyminen puoliliukuvalla nopeusalueelle muuttaa alusta merkittävästi. Aluksen koko vaikuttaa kustannuksiin, mutta aluksen elinkaarenaikaisten muutosten kannalta kasvuvара tuo tarvittavaa joustavuutta. Lisäksi suuremmalla pituudella on positiivinen vaikutus esimerkiksi vastukseen ja merikelpoisuuteen. Modulaarisella taistelujärjestelmällä saadaan lisää joustavuutta elinkaarenaikaisiin muutoksiin, mutta riittävä kasvuvара voi ajaa saman asian, jos muutoksia tehdään hyvin harvoin eikä vaihtoehtoisia järjestelmiä ole käytettävissä. LCS:n ulkoisiin järjestelmiin perustuvan taistelujärjestelmän toimivuudesta ei ole vielä näyttöä. Laivasuunnittelun, ja erityisesti yleisjärjestelyn kannalta lastitilavaatimus on varsin selkeä verrattuna useisiin alukseen sijoitettaviin kiinteisiin järjestelmiin verrattuna.

Vaikka tässä tutkimuksessa ei sen enempää käsitelty käyttökustannuksia, voidaan vanhojen alusten suuren henkilöstömäärän sekä pelkkiin kaasuturbiineihin perustuvien koneistoratkaisujen olleen selvästi kustannuksia kasvattavia tekijöitä. Käyttökustannusten kannalta uusin aluksien alhaisempi henkilöstömäärä sekä joustavammat käyttöprofiilit omaavat koneistot ovat lähtökohtaisesti parempia. Toisaalta henkilöstömäärän alentamisen väitetään lisäävän järjestelmien monimutkaisuutta, vaikka niiden huollettavuus olisikin helpompaa. Myös toimintojen siirtyminen ihmisiltä koneille lisää riippuvuutta teknisistä järjestelmistä, mikä on aiheuttanut huolta muun muassa vauriontorjuntaan liittyen.

Tämän tutkimuksen perusteella jatkotutkimusaiheita voisivat olla laivatekniikan osalta DDG-1000:n tumblehome- ja LCS:n trimaraanirunkoratkaisujen ominaisuudet sekä järjestelmäteknikan osalta LCS:n ulkoisiin järjestelmiin perustuva taistelujärjestelmä, koska niiden toimivuudesta ei ole vielä varmuutta. Näiden aiheiden tutkiminen edellyttää käyttökokemuksia. Myös sähkötekniikan kehittymistä ja sen mahdollistamia uusia koneistoratkaisuja kannattanee seurata ja tutkia. Sotatalouden tutkijalle molemmat tarkastellut hankkeet tarjoaisivat mielenkiintoisen tutkimusaiheen hankkeiden muutoksista ja niiden syvällisistä syistä.

Kaiken kaikkiaan, ja hieman kärjistäen voidaan todeta, että DDG-1000:sta on pyritty tekemään ”maailman paras” rannikkomerien tulitukialus ja LCS:stä ”maailman paras” toimintaedellytysten luoja rannikkomerillä. Taistelualusten elinjakso on noin 30...40 vuotta. Kun vielä huomioidaan, että alusten kehittäminen alkaa noin 10 vuotta, ja joskus jopa huomattavasti aikaisemmin ennen suorituskypyn käyttöönottoa, on vaatimusten asettamisen ja aluksista luopumisen välillä useita kymmeniä vuosia. Tällä hetkellä vaikuttaa esimerkiksi siltä, että aika on ajanut ainakin DDG-1000:n ohitse jo ennen sen käyttöön ottoa. Sekä LCS että DDG-1000 ovat tehtäviin optimoinnista johtuen eräänlaisia erikoisaluksia, jotka eivät sellaisenaan sovi yleiskäyttöisten pintataistelualusten esikuviksi. Tämä koskee myös laivateknisiä ratkaisuja, jotka ovat sidoksissa tehtäviin optimointiin. Tätä taustaa vasten vaikuttaisi parhaalta vaihtoehdolta tiettyyn vallitsevaan uhkaskenaarioon tai sotataidolliseen ajatteluun perustuvan maailman parhaan laivan sijasta varmistaa, että alus on ominaisuuksiltaan riittävän hyvä koko elinjaksonsa ajan. DDG-51 vaikuttaa edelleen kehittämisen perusteella täyttävän tämän vaatimuksen. Pintataistelualusten kehittämisessä sanonta: ”Paras on hyvän pahin vihollinen.” on varsin osuva.



## LÄHTEET

- [1] Abbott, Ben. Operations Analysis Guides LCS Employment. U.S. Naval Institute Proceedings, February 2009.
- [2] Annati, Massimo. Multi Role Vessels – Concept and Realisation. Naval Forces, VI/2007.
- [3] Austal. LCS 127. Viitattu 11.1.2011. Saatavissa:  
[http://www.austal.com/files/delivery/LCS\\_127\\_Data\\_Sheets.pdf](http://www.austal.com/files/delivery/LCS_127_Data_Sheets.pdf)
- [4] Bagget, John. Logistical Analysis of the Littoral Combat Ship (LCS) Operating Independently in the Pacific. Master's Thesis. Naval Post Graduate School, USA, 2008.
- [5] Baker III, A.D. Can DDG 1000 do the job? One of 2 views. Viitattu 17.2.2011. Saatavissa:  
[http://www.navytimes.com/community/opinion/navy\\_opinion\\_zumwaltproblems\\_070423/](http://www.navytimes.com/community/opinion/navy_opinion_zumwaltproblems_070423/)
- [6] Bentz, Troy. Fight or Flight? U.S. Naval Institute Proceedings, February 2010.
- [7] Bricknell, David. The Combining Force, Marine Gears – Link Between Prime Movers and Propulsion. Naval Forces, III/2005.
- [8] Brown, Gerald et al. Steaming on Convex Hull. Interfaces, July-August 2007, Vol. 37, No. 4. Viitattu 13.1.2011. Saatavissa:  
<http://faculty.nps.edu/rrosent/docs/SteamingConvexHulls07.pdf>
- [9] CAIV (Cost As an Independent Variable). Viitattu 17.11.2010. Saatavissa:  
<http://src.alionscience.com/pdf/caiv.pdf>
- [10] Cavas, Christopher. Aboard USS Independence (LCS 2). Viitattu 11.10.2011. Saatavissa:  
<http://www.public.navy.mil/surfor/lcs2/Pages/LCS2ItllBlowYourMind.aspx>

- [11] Cavas, Christopher. Aluminum Glitters Inside 2nd Littoral Combat Ship Variant. 2010, January 8. Viitattu 8.2.2011. Saatavissa: <http://www.defensenews.com/story.php?i=4446438>
- [12] Commander U.S. 7th Fleet. Viitattu 29.10.2010. Saatavissa. <http://www.c7f.navy.mil/imagery/high-res/2009/08-August/090816-N-2638R-003.jpg>
- [13] Conference on the Limitation of Armament. Washington 1922. Viitattu 18.1.2011. Saatavissa: [http://www.ibiblio.org/pha/pre-war/1922/nav\\_lim.html](http://www.ibiblio.org/pha/pre-war/1922/nav_lim.html)
- [14] Congressional Budget Office CBO Testimony. The Navy's DD(X) Destroyer Program. 2005, July 19. Viitattu 1.11.2010. Saatavissa: <http://www.cbo.gov/ftpdocs/65xx/doc6561/07-19-NavyDDX.pdf>
- [15] Congressional Research Service Employment Home Page. CRS employment opportunities. Viitattu 20.9.2010. Saatavissa: <http://www.loc.gov/crsinfo/>
- [16] Copp, Tara. Arleigh Burke-class destroyers are 'buckling' under stress, admits USN. Signals. Jane's Navy International, November 2007.
- [17] DDG-1000 Zumwalt Stealth Destroyer DD(X). Viitattu 20.2.2011. Saatavissa: <http://www.allwoodships.com/MilitaryShips/Destroyers/DDX-1000,Zumwalt.htm>
- [18] Department of Navy. Research, Development & Acquisition. Office of the Assistant Secretary of the Navy. Viitattu 21.6.2011. Saatavissa: [https://acquisition.navy.mil/rda/home/organizations/asn\\_rda](https://acquisition.navy.mil/rda/home/organizations/asn_rda)
- [19] Department of Navy. Research, Development & Acquisition. Organizations. Viitattu 18.8.2010. Saatavissa: <https://acquisition.navy.mil/rda/home/organizations>

- [20] Director, Operational Test and Evaluation. Navy Programs. FY2009 Annual Report. Viitattu 18.1.2010. Saatavissa: <http://pogoarchives.org/m/ns/dote-fy09annualreport-navy.pdf>
- [21] Director, Operational Test and Evaluation. Navy Programs. FY2010 Annual Report. Viitattu 18.1.2010. Saatavissa: <http://pogoarchives.org/m/ns/dote-fy2010-ar-navy-pp-97-178-1122011.pdf>
- [22] Engineering Training (Code 60). Viitattu 6.2.2011. Saatavissa: <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/swos/eng/index.html>
- [23] Essenhigh, Angus & Franken, Michael. Handling the Arleigh Burke-Part Three. U.S. Naval Institute Proceedings, June 2002.
- [24] Fish, Tim. BIW, NGSS clinch Zumwalt-class destroyer build deals. Jane's Navy International, March 2008.
- [25] Fish, Tim. High/low or modularity: navies explore the options. Jane's Navy International, October 2008.
- [26] Fish, Tim. Construction of LCS 3 starts at second attempt. Jane's Defence Weekly, 22 July 2009, Issue 29.
- [27] Friedman, Norman. U.S. Destroyers: An Illustrated Design History. Revised Edition. Naval Institute Press, USA, 2004. ISBN 1-55750-442-3.
- [28] Friedman, Norman. The New Shape of Ships. Naval Forces, II/2006.
- [29] Gangler, Jean-Pierre. Naval Waterjets versus Naval Propellers. Naval Forces, VI/20002.
- [30] Gates, P.J. Surface Warships. An Introduction to Design Principles. Brassey's Defence Publisher, UK, 1987. ISBN 0-08-034754-1.
- [31] General Dynamics LCS. Viitattu 30.12.2010. Saatavissa: <http://www.gdlcs.com/>

- [32] Harras, Jarmo. NATO Naval Group 6:n raportti ”Small Ship Design” ja sen käyttö taistelualuksen määrittelyyn esimerkkitapauksessa. EUK 58:n tutkimustyö. Maanpuolustuskorkeakoulu, Helsinki, 2006.
- [33] Harras, Jarmo. Nopeat uppoumarunkoisen sotalaivan kulkuvastuksen määrittäminen virtaussimuloinnilla. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Sovelletun mekaniikan laitos, Espoo, 2008.
- [34] Hirsjärvi, Sirkka & Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula. Tutki ja kirjoita. 15.-16. painos. Hämeenlinna, 2010. ISBN 978-951-31-4836-2.
- [35] Horvath, Joseph. DDG 1000 Case Study Overview. Konferenssiesitys. 2006. Viitattu: 4.11.2010. Saatavissa:  
[http://www.dau.mil/conferences/presentations/2006\\_PEO\\_SYSCOM/tue/A1-Second.pdf](http://www.dau.mil/conferences/presentations/2006_PEO_SYSCOM/tue/A1-Second.pdf)
- [36] Howe, James. The Navy’s ’Tipping Point’. Comment. U.S. Naval Institute Proceedings, February 2010.
- [37] Häkkinen, Pentti. Laivan kuljetuskoneisto. M-220. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio, Espoo, 1997. ISBN 951-22-3483-1.
- [38] Jane’s Fighting Ships tietokantapalvelu. Freedom class littoral combat ship flight 0. Viitattu 1.10.2010.
- [39] Jane’s Fighting Ships tietokantapalvelu. Independence class Littoral combat ship Flight 0. Viitattu 1.10.2010.
- [40] Jane’s Fighting Ships tietokantapalvelu. Oliver Hazard Perry class. Viitattu 1.10.2010.
- [41] Jane’s Fighting Ships tietokantapalvelu. Spruance class: Destroyers. Viitattu 1.10.2010.
- [42] Jane’s Fighting Ships tietokantapalvelu. Zumwalt (DDG 1000) class. Viitattu 1.10.2010.

- [43] Jean, Grace. Duty Aboard the Littoral Combat Ship: 'Gruelling but Manageable'. September, 2010. Viitattu 8.2.2011. Saatavissa: <http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2010/September/Pages/DutyAboardtheLittoralCombatShip%E2%80%98GruelingbutManageable%E2%80%99.aspx>
- [44] Jordan, John. An Illustrated Guide to Modern Destroyers. Salamander Books Ltd, United Kingdom, 1986. ISBN 0-86101-203-8.
- [45] Kauranen, Ilkka & Mustakallio, Mikko & Palmgren, Virpi. Tutkimusraportin kirjoittamisen opas opinnäytetyön tekijöille. Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2008. ISBN 951-22-8359-X.
- [46] Kerr, Julian. Still afloat: Australia's FFGs survive a tortuous upgrade. Jane's Navy International, May 2009.
- [47] Kidwell, James. Advanced Gun System (AGS). Esitys. 2008. Viitattu 4.11.2010. Saatavissa: [http://www.dtic.mil/ndia/2008gun\\_missile/KidwellJames.pdf](http://www.dtic.mil/ndia/2008gun_missile/KidwellJames.pdf)
- [48] Koch, Andrew & Scott, Richard. USN revisits DD(X) acquisition plans. Jane's Navy International, July/August 2005.
- [49] Konttinen, Hannu. Laivatyypien nimitysperusteita. Suomen meriarkeologinen seura ry. Viitattu 11.3.2011. Saatavissa: <http://www.meriarkeologinenseura.fi/laivatyypit.html>
- [50] Kosola, Jyri. Amerikkalaisilla ongelmia vaatimusten hallinnassa. Sotatekniikka. Sotilasaikakausilehti, Helmikuu 2/2011.
- [51] Kreisher, Otto. U.S. Navy Cleared for New Class of Destroyers, Model for New Cruisers. Naval Forces, II/2006.
- [52] Kreisher, Otto. Integrated Electric Power. Naval Forces, II/2008.
- [53] Kreisher, Otto. Checkered Past, Uncertain Future. U.S. Naval Institute Proceedings, January 2009.

- [54] Kreisher, Otto. Littoral Combat Ship (LCS). Naval Forces, II/2009.
- [55] Lagrone, Sam. Briefing, US focus part one: Sea, Ship shape. Jane's Defence Weekly, 21 April 2010, Issue 16.
- [56] Lagrone, Sam. San Antonio deployment shelved as faults multiply. Jane's Defence Weekly, 27 October 2010, Issue 43.
- [57] Lamb, G. Robert (toim.). High-Speed, Small Naval Ships Technology Development Plan. NSWCCD-20-TR-2003/09. Unclassified. NAVSEA, Naval Surface Warfare Center, Carderock Division, USA, 2003. Tutkimusraportti diplomityön tekijällä.
- [58] Landström, Björn. Laiva. Katsaus laivan historiaan alkukantaisesta lautasta atomikäyttöiseen sukellusveneeseen. Kustannusosakeyhtiö Otava, 1961. ISBN 951-1-11183-3.
- [59] Lappalainen, Esa & Jormakka, Jorma (toim.). Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa. Julkaisusarja 5, No 1. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 1994. ISBN 951-25-1540-7.
- [60] LeGault, Michael R. DDG-1000 Zumwalt: Stealth warship. 2010. Viitattu 24.1.2011. Saatavissa: <http://www.compositesworld.com/articles/ddg-1000-zumwalt-stealth-warship>
- [61] Lewis, Edward (toim.). Principles of Naval Architecture, Volume I, Stability and Strength. Second Revision. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988. ISBN 0-939773-00-7.
- [62] Lewis, Edward (toim.). Principles of Naval Architecture, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration. Second Revision. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988. ISBN 0-939773-01-5.
- [63] Lewis, Edward (toim.). Principles of Naval Architecture, Volume III, Motions in Waves and Controllability. Second Revision. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1989. ISBN 0-939773-02-3.

- [64] Liszniansky, Myron & Laliberty, Tom. DDG 1000 – First of the Zumwalt Class Transforming the Navy. Esitys. Systems & Software Technology Conference, 2006. Viivattu 4.11.2010. Saatavissa: <http://www.sstc-online.org/proceedings/2006/pdfs/sps42.pdf>
- [65] Lockheed Martin Corporation. MK41 Vertical Launching System. Esite.
- [66] Lockheed Martin LCS Team. Viitattu 30.12.2010. Saatavissa: <http://www.lmlcsteam.com/>
- [67] Lockheed Martin LCS Team. Viitattu 20.2.2011. Saatavissa: <http://www.lmlcsteam.com/>
- [68] Lundquist, Erward. Navy and Industry Pursuing New Power and Propulsion Methods. Viitattu 13.1.2011. Saatavissa: [http://wstiac.alionscience.com/pdf/WQV9N1\\_ART04.pdf](http://wstiac.alionscience.com/pdf/WQV9N1_ART04.pdf)
- [69] Matusiak, Jerzy. Laivan kulkuvastus. 1. Painos. M-289. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio, Otaniemi, 2005. ISBN 951-22-7501.
- [70] Matusiak, Jerzy. Laivan propulsio. 6. laajennettu ja korjattu painos. M-176. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio, Espoo, 2005. ISBN 951-22-1694-9.
- [71] Mediumi – Artikkelit – Teknologia. Viitattu 25.10.2010. Saatavissa: <http://www.m-cult.net/mediumi/article.html?articleId=88&page=1>
- [72] MOT Kielitoimiston sanakirja 2.0. Viitattu 25.10.2010. Saatavissa: <https://www.milnet.fi/mot.kielikone.fi/mot/puolustusvoimat/netmot.exe>
- [73] NATO/PfP working paper on small ship design. Nato Naval Group 6 Specialist Team on Small Ship Design. May 2004.
- [74] Naval Sea Systems Command. Affiliated Program Executive Offices. Viitattu 18.8.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/Organization/PEO.aspx>
- [75] Naval Sea Systems Command. Headquarters Directorates. Viitattu 28.9.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/Organization/Directorates.aspx>

- [76] Naval Sea Systems Command. Naval Surface Warfare Center. Viitattu 28.9.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/nswc/default.aspx>
- [77] Naval Sea Systems Command. NAVSEA 101. Viitattu 28.9.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/Organization/NAVSEA%20101.aspx>
- [78] Naval Sea Systems Command. NAVSEA Corporate Leadership. Viitattu 28.9.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/Organization/HQ.aspx>
- [79] Naval Sea Systems Command. Supervision of Ship Building, Construction & Repair. Viitattu 28.9.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/supship/default.aspx>
- [80] Naval Sea Systems Command. Team Ships. Frequently Asked Questions. Viitattu 28.9.2010. Saatavissa: <http://www.navsea.navy.mil/teamships/teamships/FAQ.aspx>
- [81] Naval Sea Systems Command. Team Ships. PEO Ships DDG 51. Viitattu 1.10.2010. Saatavissa: [http://www.navsea.navy.mil/teamships/PEOS\\_DDG51/default.aspx](http://www.navsea.navy.mil/teamships/PEOS_DDG51/default.aspx)
- [82] Naval Sea Systems Command. Team Ships. PEO Ships Littoral Combat Ships. Viitattu 29.12.2010. Saatavissa: [http://www.navsea.navy.mil/teamships/PEOS\\_LCS/default.aspx](http://www.navsea.navy.mil/teamships/PEOS_LCS/default.aspx)
- [83] Naval Sea Systems Command. Team Ships. Sea 21 Combatant Modernization Program. Viitattu 1.10.2010. Saatavissa: [http://www.navsea.navy.mil/teamships/Sea21\\_Mod/MOD\\_DDG51.aspx](http://www.navsea.navy.mil/teamships/Sea21_Mod/MOD_DDG51.aspx)
- [84] Naval Sea Systems Command. Team Ships. Sea 21 Combatant Modernization Program. Viitattu 1.10.2010. Saatavissa: [http://www.navsea.navy.mil/teamships/Sea21\\_Mod/MOD\\_FFG7.aspx](http://www.navsea.navy.mil/teamships/Sea21_Mod/MOD_FFG7.aspx)
- [85] Naval-Technology.com. Viitattu 3.2.2011. Saatavissa: <http://www.naval-technology.com/projects/dd21/dd218.html>



- [86] Naval Vessel Register. Viitattu 5.11.2011. Saatavissa:  
<http://www.nvr.navy.mil/>
- [87] Newell, Casandra. US Navy agrees to buy third Zumwalt-class destroyer. Jane's Navy International, September 2008.
- [88] Newell, Casandra. Battle lines drawn over growth in of DDG 1000 destroyer fleet. Jane's Navy International, March 2009.
- [89] Official website of the United States Navy. Viitattu 29.10.2010. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/101026-N-3418M-214.jpg>
- [90] Official website of the United States Navy. Viitattu 29.10.2010. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/100504-N-8959T-675.jpg>
- [91] Official website of the United States Navy. Viitattu 3.1.2011. Saatavissa  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/041016-N-8704K-003.jpg>
- [92] Official website of the United States Navy. Viitattu 4.1.2011. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/040618-N-5319A-001.jpg>
- [93] Official website of the United States Navy. Viitattu 11.1.2011. Saatavissa:  
[http://www.navy.mil/view\\_single.asp?id=55246](http://www.navy.mil/view_single.asp?id=55246)
- [94] Official website of the United States Navy. Viitattu 3.2.2011. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/080804-N-0000X-009.jpg>
- [95] Official website of the United States Navy. Viitattu 3.2.2011. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/090712-N-0000G-006.jpg>
- [96] Official website of the United States Navy. Viitattu 3.2.2011. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/100707-N-7200S-020.jpg>
- [97] Official website of the United States Navy. Viitattu 10.2.2011. Saatavissa:  
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/070501-N-5822P-039.jpg>

- [98] Official website of the United States Navy. Littoral Combat Ship Contract Award Announced. Viitattu 30.12.2010. Saatavissa: [http://www.navy.mil/search/display.asp?story\\_id=57917](http://www.navy.mil/search/display.asp?story_id=57917)
- [99] Official website of the United States Navy. Navy Organisation. Viitattu 18.8.2010. Saatavissa: <http://www.navy.mil/navydata/organization/org-over.asp>
- [100] Official website of the United States Navy. Photo Gallery. Viitattu 30.12.2010. Saatavissa: <http://www.navy.mil/search/photolist.asp>
- [101] Official website of the United States Navy. Responsibilities. Viitattu 18.8.2010. Saatavissa: [https://navcms.news.navy.mil/navydata/leadership/secnav\\_respons.asp](https://navcms.news.navy.mil/navydata/leadership/secnav_respons.asp)
- [102] Official website of the United States Navy. United States Navy Fact File. Viitattu 1.10.2010. Saatavissa: [http://www.navy.mil/navydata/fact\\_display.asp?cid=4200&tid=900&ct=4](http://www.navy.mil/navydata/fact_display.asp?cid=4200&tid=900&ct=4)
- [103] Open CRS. About Open CRS. Viitattu 20.9.2010. Saatavissa: <http://opencrs.com/about/>
- [104] O'Rourke, Ronald. Electric-Drive Propulsion for U.S. Navy Ships: Background and Issues for Congress. CRS Report for Congress, RL30622, July 31, 2000. Viitattu 12.1.2011. Saatavissa: <http://opencrs.com/document/RL30622/2000-07-31/>
- [105] O'Rourke, Ronald. Naval Transformation: Background and Issues for Congress. CRS Report for Congress, RS20851, February 10, 2005. Viitattu 18.8.2010. Saatavissa: [http://www.globalsecurity.org/military/library/report/crs/crs\\_rs20851\\_feb05.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/report/crs/crs_rs20851_feb05.pdf)
- [106] O'Rourke, Ronald. Navy DD(X) and LCS Ship Acquisition Programs: Oversight Issues and Options for Congress. CRS Report for Congress, RL32109, January 25, 2005. Viitattu 8.11.2010. Saatavissa: <http://opencrs.com/document/RL32109/2005-01-25/>

- [107] O'Rourke, Ronald . Navy DDG-1000 (DD(X)), CG(X), and LCS Ship Acquisition Programs: Oversight Issues and Options for Congress. CRS Report for Congress, RL32109, August 14, 2006. Viitattu 12.11.2010. Saatavissa: [http://assets.opencrs.com/rpts/RL32109\\_20060814.pdf](http://assets.opencrs.com/rpts/RL32109_20060814.pdf)
- [108] O'Rourke, Ronald. Navy DDG-1000 Destroyer Program: Background, Oversight Issues, and Options for Congress. CRS Report for Congress, RL32109, April 11, 2008. Viitattu 9.11.2010. Saatavissa: <http://opencrs.com/document/RL32109/2008-04-11/>
- [109] O'Rourke, Ronald. Navy DDG-1000 and DDG-51 Destroyer Programs: Background, Oversight Issues, and Options for Congress. CRS Report for Congress, RL32109, June 4, 2009. Raportti on diplomityön tekijällä.
- [110] O'Rourke, Ronald. Navy DDG-51 and DDG-1000 Programs: Background and Issues for Congress. CRS Report for Congress, RL32109, December 23, 2009. Viitattu 3.1.2011. Saatavissa: <http://opencrs.com/document/RL32109/2009-12-23/>
- [111] O'Rourke, Ronald. Navy DDG-51 and DDG-1000 Programs: Background and Issues for Congress. CRS Report for Congress, RL32109, September 28, 2010. Raportti on diplomityön tekijällä.
- [112] O'Rourke, Ronald. Navy Littoral Combat Ship (LCS) Program: Background, Issues, and Options for Congress. CRS Report for Congress, RL33741, October 14, 2010. Viitattu 17.11.2010. Saatavissa: <http://opencrs.com/document/RL33741/2010-10-14/>
- [113] Pagliano, Gary & O'Rourke, Ronald. Evolutionary Acquisition with Spiral Development in DOD Programs: Policy Issues for Congress. CRS Report for Congress, RS21195, May 17, 2006. Viitattu 10.11.2010. Saatavissa: <http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metacrs9304/>
- [114] Philips, Malcolm. Modular Propulsion for Modular Warships. Naval Forces, IV/2006.

- [115] Polmar, Norman. Small Surface Combatants: Another Try. U.S. Naval Institute Proceedings, August 2002.
- [116] Preliminary Design Interim Requirements Document, Serial Number: N763F-S03-026, for Littoral Combat Ship (LCS) Flight 0. 2003. Viitattu 17.11.2010. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2003/03r2309-attach-j-4.pdf>
- [117] Program Executive Office. Shipbuilding: The Way Ahead. Esitelmä, Joint Fleet/NAVSEA JINII Meeting, 28.4.2005. Viitattu 4.11.2010. Saatavissa: <http://www.nstcenter.com/docs/PDFs/JINII/2005April/JINII-Meeting-2005April-Presentation-Ships%20NC%20Final.pdf>
- [118] Pugh, Philip. The Cost of Seapower: The Influence of Money on Naval Affairs from 1815 to the Present Day. Conway Maritime Press Ltd, Great Britain, 1986. ISBN 0-85177-419-9.
- [119] Puolustusvoimien määritelmärekisteri. PVAH-järjestelmä.
- [120] Rawson, Kenneth & Tupper, Eric. Basic Ship Theory. Volume 1, Hydrostatics and Strength. Fifth Edition. Butterworth-Heinemann, Great Britain, 2001. ISBN 0-7506-5396-5.
- [121] Rawson, Kenneth & Tupper, Eric. Basic Ship Theory. Volume 2, Ship Dynamics and Design. Fifth Edition. Butterworth-Heinemann, Great Britain, 2001. ISBN 0-7506-5397-3.
- [122] Sea Power for a New Era 2007. A Program Guide to the U.S. Navy. Chapter 3. Viitattu 10.11.2010. Saatavissa: <http://www.navy.mil/navydata/policy/seapower/spne07/top-spne07.html>
- [123] Ship-Technology.com. Aeolus Kenteris (Red Sea I) – Ferry. Viitattu 13.1.2011. Saatavissa: <http://www.ship-technology.com/projects/aeolos/>

- [124] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 – osa 1. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Helsinki, 2008.
- [125] Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 – osa 2. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Helsinki, 2008.
- [126] Stewart, Claire. Freedom takes to the water. Rolls-Royce, In-Depth, Issue 13 2008.
- [127] Taggart, Robert (editor). Ship Design and Construction. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, USA, 1980.
- [128] Team Ships. PEO Ships DDG 1000. Viitattu 1.10.2010. Saatavissa: [http://www.navsea.navy.mil/teamships/PEOS\\_DDG1000/default.aspx](http://www.navsea.navy.mil/teamships/PEOS_DDG1000/default.aspx)
- [129] Tiainen, Jorma (toim.). Gummeruksen uusi tietosanakirja. Osa 4. Gummerus Oy, Jyväskylä, 1987. ISBN 951-20-2924-3.
- [130] United Defence. Vertical Launching System (VLS) Mk 41– Strike-Length Module. Esite.
- [131] United States Naval Academy. Principles of Ship Performance. EN200 Course Notes, 2003. Aineisto diplomityöntekijän hallussa.
- [132] United States Navy. Sea Power 21. Viitattu 18.8.2010. Saatavissa: <http://www.navy.mil/navydata/cno/proceedings.html>
- [133] Varsta, Petri. Laivasuunnittelun perusteet. Teknillisen korkeakoulun opintojakso kul-24.201, luennoitu syksyllä 2005. Luentomateriaali diplomityön tekijällä.
- [134] Vego, Milan. Defining priorities at sea: mobility, versatility and survivability. Naval Forces, IV/2009.
- [135] Vego, Milan. No Need for High Speed. U.S. Naval Institute Proceedings, September 2009.

- [136] Washington Naval Treaty. Viitattu 18.1.2011. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Washington\\_Naval\\_Treaty](http://en.wikipedia.org/wiki/Washington_Naval_Treaty)
- [137] Wertheim, Eric (toim.). The Naval Institute Guide to Combat Fleets of the World 2005-2006. U.S. Naval Institute, USA, 2005. ISBN 1-59114-934-7.
- [138] Wikimedia Commons. Viitattu 13.2.2011. Saatavissa: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:US\\_Navy\\_090801-O-0000X-004\\_The\\_Arleigh\\_Burke-class\\_guided-missile\\_destroyer\\_Jason\\_Dunham\\_\(DDG\\_109\)\\_is\\_translated\\_from\\_the\\_Land\\_Level\\_Transfer\\_Facility\\_at\\_Bath\\_Iron\\_Works\\_in\\_to\\_the\\_floating\\_dry\\_dock\\_after\\_its\\_christening\\_ceremony.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_090801-O-0000X-004_The_Arleigh_Burke-class_guided-missile_destroyer_Jason_Dunham_(DDG_109)_is_translated_from_the_Land_Level_Transfer_Facility_at_Bath_Iron_Works_in_to_the_floating_dry_dock_after_its_christening_ceremony.jpg)
- [139] Wikipedia. Viitattu 3.1.2011. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:USS\\_Ingersoll\\_DD-990.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:USS_Ingersoll_DD-990.jpg)
- [140] Wikström, Kaarle. Merisodan kuva 2025 – Yhdysvaltojen merisodan käynnin kehitysnäkymiä. Julkaisusarja A, Tutkimuksia Nro 1/2005. Merisotakoulu, Koulutuskeskus, 2005. ISBN 951-25-1638.
- [141] www.belgian-navy.be. Viitattu 14.2.2011. Saatavissa: [www.belgian-navy.be](http://www.belgian-navy.be)

## **LIITTEET**

Liite 1      Lyhenteet

Liite 2      Laivojen teknisiä tietoja

## LYHENTEET

### Yleiset lyhenteet

ABS	American Bureau of Shipping
AAW	Anti-Air Warfare
AFSS	Autonomic Fire Suppression System
AGS	Advanced Gun System
AIP	Advanced Induction Motor
AMDR	Air and Missile Defence Radar, Advanced Missile Defence Radar
AMR	Auxiliary Machinery Room
APUC	Average Program Unit Cost
ARG	Amphibious Ready Group
ASROC	Anti-Submarine Rocket
ASuW	Anti-Surface Warfare
ASW	Anti-Submarine Warfare
BIW	Bath Iron Works
BMD	Ballistic Missile Defence
BuOrd	Bureau of Ordnance
BuShips	Bureau of Ships
CAIV	Cost As an Independent Variable
CBO	Congressional Budget Office
CNO	Chief of Naval Operations
CDR	Critical Design Review
CG	Cruiser Guided Missile
CODAG	Combined Diesel And Gas
COGAG	Combined Gas And Gas
CRRC	Combat Rubber Raiding Craft
CRS	Congressional Report Service
CSG	Carrier Strike Group
C4I	Command, Control, Communications, Computers and Intelligence
DBR	Dual-Band Radar



DD	Destroyer
DDG	Destroyer Guided Missile
DE	Destroyer Escort
DLG	Destroyer Leader Guided Missile
DOD	Department of the Defence
DON	Department of the Navy
EA/SD	Evolutionary acquisition with spiral development
EDM	Engineering Development Models
ESSM	Enhanced Sea Sparrow Missile
EUK	Esiupseerikurssi
FF	Frigate
FFG	Frigate Guided Missile
FY	Fiscal Year
GD	General Dynamics
GOA	Governmental Accountability
GT	Gas Turbine
GTG	Gas Turbine Generator
HF	High Frequency
IDHA	Integrated Deckhouse and Appentures
IOC	Initial Operational Capability
IPS	Integrated Power System
IUWS	Integrated Undersea Warfare System
LAMPS	Light Airborne Multi-Purpose System
LCS	Littoral Combat Ship
LHA	Amphibious Assault Ship
LHD	Amphibious Transport Dock
LRLAP	Long Range Land Attack Projectile
MCM	Mine Countermeasures, Mine Countermeasures Ship
MEKO	Mehrzweck-Kombination
MER	Main Engine Room
MFR	Multifunction Radar
MHC	Minehunter, Coastal
MNS	Mission Need Statement
NATO	North Atlantic Treaty Organisation

NAVSEA	Naval Sea System Command
NG	Northrop Grumman
NLOS	Non-Line of Sight
NSWC	Naval Surface Warfare Center
NVR	Naval Vessel Rules, Naval Vessel Register
OpNav	the Office of the Chief on Naval Operations
PAUC	Program Acquisition Unit Cost
PF	Patrol Frigate
PEO	Program Executive Officer
PMM	Permanent Magnet Motor
RAM	Rolling Airframe Missile
RAS	Rapid Acquisition Strategy
RAST	Recovery, Assistance, Securing, Travelling
RHIB	Rigid-Hulled Inflatable Boat
SAG	Surface Action Group
SC-21	Surface Combatant for 21st Century
SEA05	Naval Systems Engineering (NAVSEA)
SEA21	Surface Warfare (NAVSEA)
SECNAV	Secretary of the Navy
SES	Surface Effect Ship
SM	Standard Missile
STAE	Sotatekninen arvio ja ennuste
Stanflex	Standard Flex
SUPSHIP	Supervisor of Shipbuilding, Conversion and Repair
SUW	Surface Warfare
SYSCOM	Systems Command
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit
TSCE	Total Ship Computing Environment Infrastructure
TKMS	ThyssenKrupp Marine Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
URG	Underway Replenishment Group
US	the United States
VCNO	Vice Commander of Naval Operations
VDS	Variable Depth Sonar

VLS	Vertical Launching System
VSR	Volume Search Radar
VTUAV	Vertical Take-off Unmanned Aerial Vehicle
YEK	Yleisesikuntaupseerikurssi

Suureiden ja niiden alaindeksien lyhenteet

$B$	Leveys
$B/T$	Leveys-syväyssuhde
$C_{ADM}$	Amiraliteetin kerroin
$C_B$	Uppouman täyteläisyysaste
$DWL$	Suunnitteluvesiviiva
$E$	Kimmokerroin
$Fn$	Frouden luku
$g$	Maanvetovoiman kiihtyvyys (käytetty arvo $9,81 \text{ m/s}^2$ )
$L$	Pituus
$L_{OA}$	Suurin pituus
$L/B$	Pituus-leveyssuhde
$L/T$	Pituus-syväyssuhde
$L/\nabla^{1/3}$	Hoikkuusluku
$MAX$	Suurin
$P$	Teho
$P/\Delta$	Teho-uppoumasuhde
$R$	Toimintamatka
$T$	Syväys
$V$	Nopeus
$W$	Paino
$W_{DW}$	Kantavuus
$W_F$	Polttoaineen paino
$W_{LS}$	Laivan omapaino
$\Delta$	Uppouman paino
$\nabla$	Uppouman tilavuus

